

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de**

**INGENIEROS MECÁNICOS**

**TEMA**

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA PARA APLICAR PINTURA**

**EPÓXICA AL INTERIOR DE TUBERÍAS DE ACERO DE 24 A 30**

**PULGADAS PARA USO INDUSTRIAL**

**AUTORES**

**ERICK ROBERT ORDÓÑEZ MERINO**

**MARCELO EFREN CARTUCHE NAGUA**

**DOCENTE TUTOR**


**ING. CHRISTIAN ALEXANDER ANRANGO MEDINA Mg.**

**Quito, enero del 2018**

## CESJON DE DERECHOS DE AUTOR

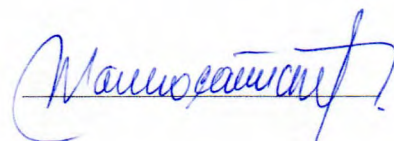
Nosotros, **Erick Robert Ordóñez Merino** y **Marcelo Efrén Cartuche Nagua**, con documento de identificación **N°171971431-1** y **N° 171631567-4** respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación: **Diseño y simulación de una máquina para aplicar pintura epóxica al interior de tuberías de acero de 24 a 30 pulgadas para uso industrial**, el mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Erick Ordóñez

C.I. 1719714311



Marcelo Cartuche

C.I. 1716315674

Quito, enero del 2018

## DECLARATORIA DE COAUTORIA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, **Diseño y simulación de una máquina para aplicar pintura epóxica al interior de tuberías de acero de 24 a 30 pulgadas para uso industrial** realizado por **Erick Robert Ordóñez Merino** y **Marcelo Efrén Cartuche Nagua**, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero del 2018.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Anarango', is written over a light blue rectangular background.

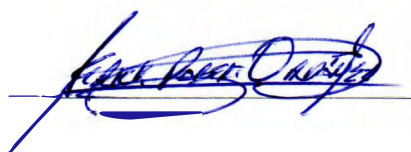
Ing. Christian Anarango. M.Sc., I.E.R.  
CI: 1714585237

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD V AUTORIZACIÓN DE USO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, **Erick Robert Ordóñez Merino** y **Marcelo Efrén Cartuche Nagua**, con documento de identificación N°171971431-1 y N° 171631567-4 respectivamente, autorizarnos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este Trabajo de Titulación y su reproducción sin fines de lucro.

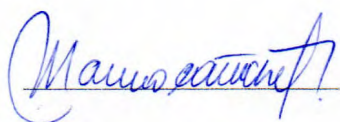
Además, declararnos que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Quito, enero del 2018



Erick Robert Ordóñez Merino

C.I. 1719714311



Marcelo Efrén Cartuche Nagua

C.I. 1716315674

## **DEDICATORIA**

A mi madre, Ana María, por su apoyo incondicional y su sabiduría al guiarme.

A mi Ángel Guardián, Lidia Cartuche, quien fue mi segunda madre, mi bastón y mi ayuda en todo momento.

A mis tías, que son mis madres por darme apoyo y fuerzas.

MARCELO

Dedico este trabajo a mis padres: Robert y Mónica, a mis hermanos Eddy Gabriel, Verónica por darme su apoyo incondicional.

ERICK ROBERT

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios, a mi familia.

Agradezco a mi compañero Erick por confiar en este proyecto.

Agradezco a nuestro director de tesis, Ingeniero Cristian Anrango, por su guía y tiempo entregado.

MARCELO

Agradezco a Dios mi *Padre celestial*, sobre todas las cosas; a mis padres, especialmente, a mi mamá Mónica Merino.

ERICK ROBERT

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>GENERALIDADES.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Definición del problema.....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Antecedentes .....	4
1.5 Importancia y alcances.....	4
1.6 Delimitación.....	5
1.7 Objetivos .....	5
1.7.1 Objetivo General.....	5
1.7.2 Objetivo Especifico.....	5
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>7</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1 Tubos de Acero .....	7
2.2 Pintura epóxica.....	7
2.3 Propuestas de solución .....	7
2.3.1 Propuesta de solución 1.....	7
2.3.2 Propuesta de solución 2.....	8
2.3.3 Propuesta de solución 3.....	9

2.3.4 Propuesta de solución 4.....	9
2.3.5 Evaluación de los conceptos de solución.....	10
2.4 Selección de la solución ideal .....	12
2.5 Diseño del mecanismo .....	12
2.5.1 Selección del material para el cuerpo de la máquina .....	12
2.6 Criterio de selección del material del cuerpo.....	14
2.6.1 Selección del tipo de acero inoxidable para el cuerpo principal.....	15
2.6.2 Criterios de selección.....	15
2.7 Material del anillo sujetador de las guías de la máquina .....	16
2.8 Material de las guías de la máquina .....	17
2.9 Material para la boca rotatoria de pintura .....	17
2.10 Material del canal por donde circula el aire .....	17
2.11 Selección del resorte para el desplazamiento de la llanta-guía .....	17
<b>CAPITULO 3.....</b>	<b>20</b>
<b>DISEÑO DE COMPONENTES MECÁNICOS.....</b>	<b>20</b>
3.1 Principio de funcionamiento .....	20
3.1.1 Características del sistema distribuidor de pintura epóxica.....	21
3.2 Compresor de aire .....	21
3.2.1 Especificaciones técnicas.....	22
3.2.2 Válvula de paso de aire comprimido.....	22



3.3 Estructura de la máquina para aplicar pintura epóxica. ....	23
3.3.1 Diseño del resorte para la estructura.....	24
3.3.2 Cálculo del número de espiras.....	24
3.3.3 Cálculo de la constante k del resorte.....	24
3.3.4 Cálculo de la reacción ejercida por la pared del tubo.....	25
3.3.5 Elemento compresor del resorte.....	26
3.3.6 Resorte.....	27
3.4 Componentes de la máquina .....	27
3.4.1 Cuerpo principal.....	27
3.4.2 Anillo para soporte de guías y pernos.....	28
3.4.3 Guía principal.....	29
3.4.4 Guía posterior.....	29
3.4.5 Ruedas.....	30
3.4.6 Tubería de alimentación de pintura.....	30
3.4.7 Reductor en tapa superior.....	31
3.4.8 Tapa superior.....	31
3.4.9 Tapa posterior.....	32
3.4.10 Boquilla para aplicar pintura.....	32
3.5 Caudal de salida en la boquilla.....	33
3.5.1 Ancho del abanico de pintura.....	34
3.5.2 Giro de la boquilla.....	35

3.5.3 Estabilidad del equipo	36
3.6 Centro de gravedad y peso de la máquina.....	37
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>39</b>
<b>SIMULACIÓN .....</b>	<b>39</b>
4.1 Estructura para la simulación.....	40
4.2 Parámetros de mallado .....	41
4.2.1 Entradas y salidas de fluido.....	43
4.3 Consideraciones para la simulación.....	44
4.3.1 Flujo de pintura por las tuberías.....	44
4.3.2 Materiales.....	44
4.3.3 Condiciones de borde.....	45
4.4 Resultados .....	45
4.4.1 Velocidad del fluido.....	46
4.4.2 Presión del fluido.....	47
4.4.3 Viscosidad del fluido.....	47
4.5 Fluido cónico en la salida de la boquilla para pintar.....	48
4.5.1 Fluido cónico (abanico) de pintura epóxica	49
4.6 Parámetros de mallado .....	50
4.7 Entrada, salida y perfiles del fluido cónico (abanico).....	51
4.8 Consideraciones para la simulación.....	52

4.9 Resultados .....	52
4.9.1 Velocidad del fluido en el abanico .....	53
4.9.2 Presión del fluido en el abanico .....	53
4.9.3 Densidad del fluido en el abanico .....	54
<b>CAPITULO 5.....</b>	<b>56</b>
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO .....</b>	<b>56</b>
5.1 Viabilidad del proyecto .....	56
5.2 Costos de inversión en materiales y mano de obra .....	56
5.3 Valor actual neto (VAN) .....	57
5.4 Tasa interna de retorno (TIR).....	57
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>66</b>
<b>Anexo 1.....</b>	<b>66</b>
<b>Anexo 2.....</b>	<b>71</b>
<b>Anexo 3.....</b>	<b>74</b>
<b>Anexo 4.....</b>	<b>75</b>
<b>PLANOS .....</b>	<b>75</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Propuesta de solución 1. ....	8
Figura 2. Propuesta de solución 2. ....	8
Figura 3. Brazo mecánico. ....	9
Figura 4. Máquina para aplicar pintura epóxica.....	10
Figura 5. Distancia que recorre conjunto guía- ruedas. ....	18
Figura 6. Tipos de extremos de resorte a compresión.....	19
Tabla 6. Tipos de extremos de resortes .....	19
Figura 7. Principio de funcionamiento de la maquina distribuidora de pintura .....	20
Figura 8. Compresor . ....	21
Figura 9. Válvula de paso de aire .....	22
Figura 10. Estructura de la máquina para aplicar pintura epóxica. ....	23
Figura 11. Cálculo de la reacción ejercida por la pared del tubo.....	26
Figura 12. Elemento compresor del resorte. ....	27
Figura 13. Cuerpo central de la máquina para aplicar pintura epóxica.....	27
Figura 14. Anillo sujetador de guías. ....	28
Figura 15. Guía principal de la máquina para aplicar pintura epóxica. ....	29
Figura 16. Guía posterior de la máquina para aplicar pintura epóxica. ....	29
Figura 17. Ruedas de la máquina para aplicar pintura epóxica.....	30
Figura 18. Tubería de pintura.....	30

Figura 19. Reductor en tapa superior de la máquina.....	31
Figura 20. Tapa superior de la máquina para aplicar pintura epóxica. ....	31
Figura 21. Tapa posterior de la máquina para aplicar pintura epóxica. ....	32
Figura 22. Ensamble giratorio para aplicar pintura epóxica. ....	33
Figura 23. Tamaño del orificio de la boquilla para aplicar pintura epóxica . ....	34
Figura 24. Numeración de boquillas . ....	34
Figura 25. Turbina.....	35
Figura 26. Ensamble de la Tubería de salida de Pintura Epóxica.....	35
Figura 27. Eje Guía .....	37
Figura 28. Centro de Gravedad de la máquina.....	37
Figura 25. Estructura para simulación. ....	40
Figura 26. Tuberías y accesorios de paso de pintura epóxica. ....	40
Figura 27. Volumen de control de paso de pintura epóxica.....	41
Figura 28. Comando inflation en ANSYS 18. ....	42
Figura 29. Mallado del volumen de control .....	43
Figura 30. Entrada y salida del volumen de control.....	43
Figura31. Entrada y salida del volumen de control.....	44
Figura 32. Velocidad del fluido. ....	46
Figura 33. Presión del fluido.....	47
Figura 34. Viscosidad del fluido. ....	48

Figura 35. Pistola para pintar . . . . .	48
Figura 36. Abanico formado desde la boquilla . . . . .	49
Figura 37. Parámetros de diseño . . . . .	49
Figura 38. Fluido cónico resultante.....	50
Figura 39. Mallado en el abanico.....	51
Figura 40. Entradas y salidas para el análisis CFD.....	52
Figura 41. Velocidad del fluido por el abanico.....	53
Figura 42. Presión del fluido por el abanico. ....	54
Figura 43. Densidad del fluido en el abanico.....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para evaluar la propuesta de solución. ....	10
Tabla 2. Ponderación de la propuesta solución. ....	12
Tabla 3. Designación europea y composición de diferentes aceros al carbono .....	13
Tabla 4. Características de los aceros. ....	14
Tabla 5. Características de los aceros inoxidables. ....	16
Tabla 6. Tipos de extremos de resortes .....	19
Tabla 7. Especificaciones técnicas del compresor. ....	22
Tabla 8. Condiciones del compresor .....	23
Tabla 9. Medidas del anillo sujetador de guías. ....	28
Tabla 10. Aire comprimido y consumo abrasivo .....	36
Tabla 11. Consumo de aire .....	36
Tabla 12. Peso del equipo y centro de gravedad. ....	38
Tabla 10. Parámetros de mallado. ....	41
Tabla 11. Calidad de malla. ....	42
Tabla 12. Flujo turbulento de pintura. ....	44
Tabla 13. Propiedades de la pintura epóxica. ....	45
Tabla 14. Presión de trabajo. ....	45
Tabla 15. Parámetros de diseño. ....	50
Tabla 16. Parámetros de mallado. ....	51

Tabla 17. Costo de materiales. ....	56
Tabla 18. Costo de mano de obra. ....	57
Tabla 19. Flujo de caja . ....	57
Tabla 20. Valor actual neto . ....	58
Tabla 21. Cálculo del TIR . ....	59
Tabla 22. Designación europea y norteamericana AISI y composición de diferentes aceros inoxidables austeníticos. ....	66
Tabla 23. Aceros al carbono y de aleación para resortes. ....	67
Tabla 24. Aceros al carbono y de aleación para resortes. ....	68
Tabla 25 . Constantes A y m de $S_{ut} = \frac{A}{d^m}$ para estimar la resistencia de tensión mínima de alambres para fabricar resortes comunes. ....	69
Tabla 26. Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte. ....	69
Tabla 27 . Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte. ....	70
Tabla 28. Esfuerzos de torsión máximos permisibles de resortes helicoidales de compresión en aplicaciones estáticas. ....	70
Tabla 29. ANSI Estándar de tubos de acero inoxidable. ....	71
Tabla 30. ANSI Estándar de tubos de acero inoxidable. ....	72
Tabla 31. ANSI Estándar de tubos de acero inoxidable. ....	73



## RESUMEN

La aplicación de recubrimientos líquidos sobre superficies metálicas desempeña un papel fundamental sobre el material recubierto porque evita la corrosión. El metal es realizado de un mineral llamado óxido férrico al que se le aplica alta energía para extraer el hierro y el mismo tiende a volver a su estado original mediante la oxidación, problema que representa altas inversiones en mantenimiento.

Los métodos de aplicación de pintura en la industria son mediante procesos manuales, métodos que nos ahorran tiempos productivos, disminuyen la producción y comprometen la seguridad de un operario, la falta de investigación para automatizar procesos causa retrocesos al no ir paralela con el avance tecnológico.

La presente investigación está enfocada a dar el primer paso para solucionar aspectos que no comprometan la seguridad de un operario, tan solo por el ahorro económico. Esta investigación se orienta a cambiar las técnicas de aplicación de pintura, en automatizar procesos mediante maquinaria que ejecute actividades de aplicación de pintura y descartar técnicas de forma manual.

El diseño y simulación del equipo se realizó mediante *software* avanzado, programas que permitieron diseñar, simular y mostrar el desempeño de la máquina diseñada. El uso de materiales estandarizados permitirá la facilidad en su construcción. Este aporte al campo de la pintura brindará beneficios a empresas que hagan uso de este equipo.

**Palabras claves:** diseño, simulación, máquina, pintura, tuberías, acero, industrial

## **ABSTRACT**

The application of liquid coatings on metal surfaces plays a fundamental role on the coated material, the application of paint to surfaces is to prevent corroding, as it is known the metal is made of a mineral called ferric oxide which is applied high energy to extracting the iron and it tends to return to its original state through oxidation, a problem that represents high investments in maintenance.

The methods of applying paint in the industry is through manual processes, methods that do not save productive times and decrease the production and compromise the safety of an operator, the lack of research to automate processes causes setbacks not to be parallel with the technological advance.

The present research is focused on taking the first step to solve aspects that do not compromise the safety of an operator only for the economic saving, this investigation is oriented to change the techniques of application of painting, in automating processes by means of machinery that performs activities of apply paint and discard techniques manually.

The present research is focused on taking the first step to solve aspects that do not compromise the safety of an operator only for the economic saving, this investigation is oriented to change the techniques of application of painting, in automating processes by means of machinery that performs activities of apply paint and discard techniques manually.

**Keywords:** design, simulation, machine, painting, pipes, steel, industrial

## INTRODUCCIÓN

Los temas tratados en los diferentes capítulos contribuirán al desarrollo del presente proyecto. Los capítulos propuestos se describen a continuación:

En el primer capítulo se realiza una descripción del tema analizado, planteamiento del problema y su justificación; así como también se describen los objetivos generales y específicos.

En el segundo capítulo se expone el marco teórico, se aborda la teoría de cálculos matemáticos; así como también las propiedades mecánicas de los materiales que permitirán más adelante el desarrollo del mecanismo

En el tercer capítulo se enfoca el diseño de los componentes, basados en leyes y principios tratados en el segundo capítulo; se selecciona el tipo del material que conformará la estructura de la máquina desarrollada.

Una vez seleccionado el tipo de material y realizado el ensamblaje del equipo, en el cuarto capítulo se da paso a la simulación a través de *software* avanzados como *ANSYS CDF* para mostrar el desempeño del equipo.

El capítulo cinco muestra un análisis económico del costo del proyecto. Mediante el TIR y VAN se indica la rentabilidad del proyecto en estudio.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

A partir de la Revolución Industrial la visión de una industria que produce productos para diferentes clientes viene considerando la idea de entregar productos de alta calidad y larga vida, para lograr esto deben usar sistemas de protección que cumplan con estos objetivos. El uso de sistemas de protección reduce costos de mantenimientos que exige cada producto elaborado, un sistema protector significa usar un medio que preserve al producto.

La aplicación de pintura a superficies metálicas es un método para la protección contra la corrosión. La importancia de tener superficies pintadas es evitar el deterioro al reaccionar con el ambiente, la humedad, la temperatura, el punto de rocío son factores contribuyentes al proceso de corrosión; otros elementos que incrementan la velocidad de corrosión son el oxígeno, sales químicas, contaminantes, gases ácidos, ambientes químicos y marinos con alta humedad, que al no ser controlados causan degradación de la superficie del material.

Si bien es cierto que superficies sin recubrimiento causan costos de mantenimiento elevados, costos directos tales como: materiales, horas/hombre de trabajo, instalación, estos costos consumen un gran presupuesto en una empresa.

Las técnicas de aplicación de recubrimientos líquidos son mediante brocha, rodillo, atomización (*spray*), cada industria puede variar el método al aplicar pintura. Estos métodos no traen complicaciones al aplicador cuando se trata de superficies externas, al tratarse de superficies internas un operario deberá trabajar en un espacio confinado sin la facilidad de movimiento en relación a un ambiente externo, un aplicador en un

espacio confinado corre un alto riesgo de mortalidad: quedar atrapado, sufrir asfixias por inhalación de vapores tóxicos, algún grado de ceguera por daños en la córnea de sus ojos, problemas pulmonares, contaminación en la sangre por inhalaciones de plomo.

La importación de equipos que aplican pintura al interior de tuberías sin necesitar que operarios estén en el interior, representa para unas empresas gran inversión de dinero, altos costos en presupuesto.

La escasez de maquinarias que ayuden a resolver estos problemas se ve reflejado en la poca actividad de investigación en el campo de pintura. No se puede hacer referencias a trabajos de investigación en este campo debido a la baja o nula inversión en presupuesto que una empresa realiza, prefieren el ahorro de dinero a correr riesgos en gastos que significan una supuesta “*perdida*”.

En qué medida el grado de seguridad de un operario se relaciona con el avance continuo de la tecnología, para responder a esta pregunta. El objetivo del presente proyecto de investigación es abordar el problema de la técnica para aplicar pintura en la superficie interior de una tubería, para lo cual se efectúa el “Diseño y simulación de una máquina para aplicar pintura epóxica al interior de tuberías de acero de 24 a 30 pulgadas para uso industrial”.

## **1.2 Definición del problema**

Actualmente, en las industrias de acero el proceso de recubrir internamente tuberías de acero de 24 a 30 pulgadas es mediante la inserción del operario dentro de la tubería, el aplicador utiliza pistolas manuales para revestir internamente la superficie del tubo. El operario al estar en un espacio confinado corre un alto riesgo de mortalidad: quedar atrapado, sufrir asfixias por inhalación de vapores tóxicos, algún grado de ceguera por

daños en la córnea de los ojos, problemas pulmonares, contaminación en la sangre por inhalaciones de plomo.

Además, otros problemas emergentes al utilizar pistolas manuales para recubrir internamente son: recubrimiento no uniforme, desperdicio de material, tiempos de secado altos debido a chorreo o exceso de pintura, alto espesor del recubrimiento o falta del mismo, mediante una técnica manual no se cumple con estándares de calidad.

La aplicación de pintura sobre superficies metálicas son un método para la protección contra la corrosión, poseen una alta resistencia a medios ácidos ,medios alcalinos, a la inmersión en agua dulce o salada, a la atmósfera altamente húmeda y corrosiva; las tuberías son pintadas en su interior para diferentes aplicaciones, dentro de las cuales se puede mencionar, para aplicaciones de agua potable, para protección contra la corrosión, reduciendo así el mantenimiento de las tuberías y haciendo más fácil su inspección.

La importación de equipos de revestimiento interno de superficies representa para las empresas una gran inversión de dinero, altos costos con relación al tiempo de recuperación de la inversión. Se presenta este proyecto para resolver los problemas expuestos y con bajos costos de inversión.

### **1.3 Justificación**

Es significativo que las empresas implementen métodos innovadores para pintar superficies internas de tuberías, remplazando métodos tradicionales por procesos modernos, podrán reducir accidentes laborales, cumplir con estándares de calidad y aumentar la producción.

Este proyecto está orientado al diseño de una máquina de revestimiento interno de tuberías de acero de 24 a 30 pulgadas. Cabe mencionar que esta tecnología no se

desarrolla en nuestro país y se la importa, resultando ser una gran inversión de dinero y pago de impuestos para las empresas; por lo tanto, se justifica que el país cree, investigue, desarrolle e implemente sistemas mecanizados a favor de las industrias.

#### **1.4 Antecedentes**

El avance tecnológico ofrece gran variedad de alternativas para aplicar pintura a superficies, el desarrollo de tecnologías pone a servicio robots, brazos robóticos que incorporan pistolas para pulverizar pintura. Estas máquinas automatizadas brindan tiempos productivos y una alta calidad en los acabados de productos.

Ecuador es un país que tiene un bajo porcentaje de investigación en el campo de la pintura comparado con otros países, tecnológicamente, desarrollados. Empresas a nivel nacional carecen de máquinas automatizadas para facilitar el proceso de aplicar pintura.

Empresas que importan máquinas para aplicar recubrimientos líquidos brindan una solución al problema de pintar productos, pero los costos elevados de importación es un impedimento al acceso de esta tecnología.

#### **1.5 Importancia y alcances**

Se considera significativo realizar el diseño y simulación de máquinas inteligentes por las siguientes razones:

- a) El presente diseño servirá como base para el desarrollo tecnológico en el área de pintura al crear nuevos métodos para aplicar pintura.
- b) El país tendrá acceso a tecnologías innovadoras que facilitan la producción.
- c) La industria nacional gozará del no pago de impuestos por importar tecnologías.

- d) Las empresas al disponer de máquinas inteligentes no correrán riesgos de accidentes laborales debido al reemplazo del operario por una máquina.
- e) La calidad del acabado de pintura en sus productos se verá mejorada
- f) Se amplía la productividad.

La presente investigación tiene como propósito contribuir al mejoramiento en la técnica de aplicar pintura a superficies internas, brindando un gran beneficio a las industrias de acero al incorporar este mecanismo que no requiere ningún operario al interior de tuberías y se lo exponga a accidentes laborales.

## **1.6 Delimitación**

El diseño de la máquina para aplicar recubrimientos líquidos a superficies internas de tuberías de acero es hacia el área de pintura; propuesta para empresas de acero pertenecientes a la Ciudad de Quito.

## **1.7 Objetivos**

### **1.7.1 Objetivo General**

Diseñar y simular una máquina para aplicar pintura epóxica al interior de tuberías de acero de 24 a 30 pulgadas para uso industrial.

### **1.7.2 Objetivo Especifico**

1. Analizar la situación actual de la técnica de aplicación de pintura epóxica al interior de tuberías de 24 a 30 pulgadas existentes en el mercado industrial
2. Seleccionar la alternativa adecuada para el diseño de la máquina para aplicación de pintura.
3. Diseñar la máquina para aplicar pintura epóxica al interior de tuberías de acero de 24 a 30 pulgadas.



4. Seleccionar elementos estandarizados para el diseño de la máquina que cumpla la función de recubrir internamente tuberías de acero de 24 a 30 pulgadas.
5. Evaluar el desempeño de la máquina a través de simulaciones en software avanzado para mejorar el diseño.
6. Elaborar un estudio económico sobre los costos invertidos por la empresa por implementación del equipo.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Tubos de Acero**

Cada año las empresas gastan grandes cantidades de dinero para el mantenimiento y protección de tuberías de acero para evitar la corrosión, los metales ferrosos tienden a volver a su estado natural de óxido férrico, para evitar el daño de la superficie del metal se usan recubrimientos líquidos para frenar el deterioro.

La clasificación de tuberías de acero según su fabricación es: Acero sin costura (sin soldadura), con costura; tanto la tubería con y sin costura son utilizados para el transporte de líquidos y gases [1].

#### **2.2 Pintura epóxica**

La pintura epóxica tiene como función proteger superficies metálicas contra la corrosión, los epóxicos son los recubrimientos protectores más utilizados industrialmente como también para la protección marina.

Las pinturas epóxicas están compuestas de: resina epóxica y el agente de curado. Las resinas epóxicas pueden mezclarse con pigmentos para mejorar la resistencia del material a cubrir, se las puede mezclar con resinas acrílicas, resinas fenólicas, óxido de aluminio para dar mejores propiedades al recubrimiento a ser aplicado.

#### **2.3 Propuestas de solución**

##### **2.3.1 Propuesta de solución 1**

Esta propuesta de solución está dada por una cama compuesta de tablas con ruedas y con sogas incorporadas a la unidad para facilitar la extracción del operario halando manualmente de la cama.

Las dimensiones de los componentes deben ir acordes al diámetro de la tubería en la cual se aplicará la pintura.

La Figura 1 muestra la propuesta solución 1.



**Figura 1.** Propuesta de solución 1.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 2.3.2 Propuesta de solución 2

Este concepto de solución mostrada en la Figura 2, está compuesto por una cama compuesta de tablas con ruedas y con cables incorporadas a la unidad para facilitar la extracción del operario, halando mediante un motor de engranajes o una unidad de velocidad la cama.

Las dimensiones de los componentes deben ir acordes al diámetro de la tubería en la cual se aplicará la pintura.



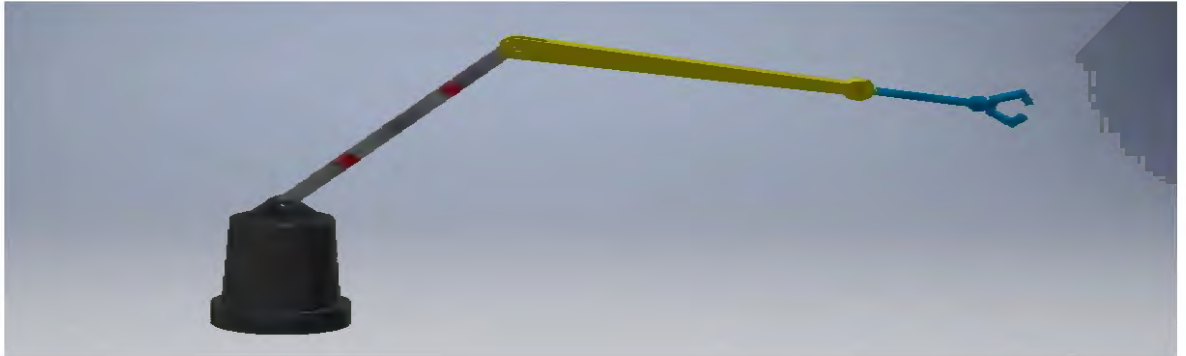
**Figura 2.** Propuesta de solución 2.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 2.3.3 Propuesta de solución 3

Esta propuesta de solución está formada por un brazo mecánico a control remoto para facilitar la aplicación de pintura al interior de una tubería.

Las dimensiones de los componentes deben ir acordes al diámetro de la tubería en el cual se aplicará la pintura. La propuesta solución 3 se muestra en la Figura 3.



**Figura 3.** Brazo mecánico.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

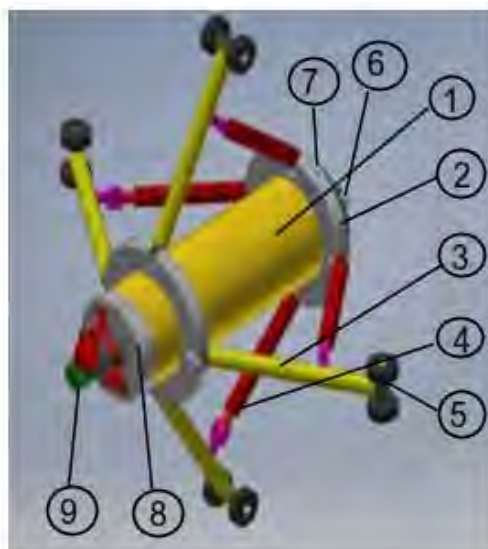
### 2.3.4 Propuesta de solución 4

Esta propuesta es el diseño y simulación de una máquina para aplicar pintura al interior de tuberías, el equipo ingresará al interior de la tubería y aplicará a su superficie el recubrimiento, los elementos componentes y encargados para cumplir esta tarea se describe a continuación:

- a. Cuerpo principal
- b. Anillo para soporte de guía y pernos
- c. Guía principal
- d. Guía posterior
- e. Ruedas
- f. Entrada de pintura - aire
- g. Tapa superior

- h. Tapa posterior
- i. Boquillas de pintura

La Figura 4 muestra la propuesta de solución 4.



**Figura 4.** Máquina para aplicar pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 2.3.5 Evaluación de los conceptos de solución

Se evaluará las propuestas de solución mediante criterios y valores para hallar la solución óptima. En la Tabla 1 se observan los criterios de evaluación de la propuesta.

**Tabla 1.** Criterios para evaluar la propuesta de solución.

VALORACIÓN	PUNTAJE	IMPORTANCIA(I)
MALO	0	0
BUENO	1	1
MUY BUENO	2	2
EXCELENTE	3	3

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche

**Definición del criterio:**

- a. **Desempeño.** -El equipo recorra grandes distancias cubriendo superficies internas de tuberías con pintura epóxica.
- b. **Diseño.** -Es el dimensionamiento y selección del mecanismo, así como sus componentes
- c. **Geometría.** -Acceso a toda la superficie interna al instante de recubrir la superficie interior de la tubería.
- d. **Fabricación.** - proceso de construcción de los elementos.
- e. **Montaje.** - El armado de partes y piezas y su complejidad para el ensamble del equipo.
- f. **Seguridad.** -El equipo no presente riesgos de accidentes laborales.
- g. **Mantenimiento.** -Se refiere al cuidado de los componentes, costos de adquisición local o importe.
- h. **Movilidad del equipo.** - Se refiere al desplazamiento durante la operación dentro de la tubería.
- i. **Costos.** -Se refiere a materiales y mano de obra en la construcción de la máquina para aplicar pintura epóxica al interior de tuberías.

La Tabla 2 muestra la ponderación de los criterios.

**Tabla 2.** Ponderación de la propuesta solución.

EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS CONCEPTOS DE SOLUCIÓN										
PROPUESTA DE SOLUCIÓN										
Número	Criterio	I	PROP.1	I*P	PROP.2	I*P	PROP.3	I*P	PROP.4	I*P
1	Desempeño	3	1	3	1	3	1	3	3	9
2	Diseño	3	1	3	1	3	3	9	3	9
3	Geometría	2	1	2	1	3	3	6	3	6
4	Fabricación	3	1	3	2	6	3	9	3	9
5	Montaje	2	1	2	1	2	3	6	3	6
6	Seguridad	1	1	1	1	1	3	3	3	3
7	Manteni.	2	1	2	1	2	3	6	3	6
8	Mov. equipo	3	1	3	1	3	3	9	3	9
9	Costos	1	1	1	1	1	3	3	3	3
Puntaje				20					51	60
Orden				4					2	1

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche

## 2.4 Selección de la solución ideal

La selección del concepto solución toma en consideración el mayor puntaje de ponderación detallada en la Tabla 2, con este criterio se puede llevar a cabo el desarrollo del concepto solución número 4.

## 2.5 Diseño del mecanismo

### 2.5.1 Selección del material para el cuerpo de la máquina

Se elegirá el material más adecuado para la máquina:

#### 2.5.1.1 Acero inoxidable

Las aleaciones a base de hierro que contengan al menos un doce por ciento de cromo se denominan aceros inoxidables, la característica principal de estos aceros es su resistencia a muchas condiciones corrosivas, los aceros aleados disponibles son: los aceros al cromo ferríticos, aceros al cromo-níquel austeníticos, aceros inoxidables martensíticos y endurecibles por precipitación [2].

Según la normativa europea (EN 10088), se definen como inoxidables los aceros que contienen al menos un 10,5 % de cromo y un máximo de 1,2 % de carbono [3].

### 2.5.1.2 Acero al carbono

Los aceros al carbono son aleaciones hierro-carbono con un porcentaje en peso de carbono de un 0.003 a un 1.2 por ciento, e incorporan manganeso de un 0.25 a un 1 por ciento [4].

Son aceros que únicamente llevan carbono como aleante para conseguir las propiedades deseadas [3].

**Tabla 3.** Designación europea y composición de diferentes aceros al carbono [3].

Designación	%C	%Si Max	% Mn	%P Max	% S Max
35	0,32-0,39	0,40	0,50-0,80	0,045	0,045
40	0,37-0,44	0,40	0,50-0,80	0,045	0,045
45	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,045	0,045
55	0,52-0,60	0,40	0,50-0,90	0,045	0,045
60	0,57-0,65	0,40	0,50-0,90	0,045	0,045

### 2.5.1.3 Aluminio

El aluminio es el metal más abundante por encima del hierro. La obtención del aluminio es a partir de la bauxita (mineral mezcla de óxidos de aluminio, hierro y silicio, entre otros), por descomposición electrolítica de la alúmina ( $Al_2O_3$ ) [3].

La característica del material y sus propiedades mecánicas se detallan en la tabla inferior, se muestra un resumen del material, aspectos como su resistencia a la corrosión, dureza, costos, referentes que nos permiten seleccionar de manera adecuada el tipo del material para crear la estructura del equipo.



La Tabla 4 muestra las propiedades de los aceros.

**Tabla 4.** Características de los aceros.

<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS ACEROS</b>			
	<b>ACERO AL CARBONO</b>	<b>ACEROS INOXIDABLES</b>	<b>ALUMINIO</b>
<b>CORROSIÓN</b>	Bajo soporte a la corrosión [4].	Gran soporte a la corrosión [3].	Resistente a la corrosión, elementos aleantes reducen la protección [3].
<b>RESISTENCIA</b>	Alta [5].	Alta resistencia [6].	Baja resistencia en relación a los aceros [6].
<b>DUREZA</b>	Alta [5].		
<b>COSTO</b>	Bajo [7].	Alto [7].	Gran ahorro con relación al acero [5].

## 2.6 Criterio de selección del material del cuerpo

Debido a las características expuestas tanto del acero al carbono y del inoxidable en la Tabla 4, las condiciones que se desea para toda máquina es la vida útil de servicio. La característica que los aceros al carbono muestran es la oxidación al medio ambiente, que implica dar un mantenimiento previo y esto lleva costos, los que se pretende evitar. Los aceros inoxidables dan un beneficio de selección al no corroerse al ambiente natural, que no conlleva a gastos de mantenimiento.

Se debe efectuar al aluminio un proceso llamado anodizado para incrementar las propiedades ante la corrosión. Este proceso requiere inversión de dinero extra. Los costos que lleva este tratamiento no hacen posible el uso del aluminio como material estructural para la realización del sistema.

El acero inoxidable es el material adecuado para realizar la estructura del cuerpo.

### **2.6.1 Selección del tipo de acero inoxidable para el cuerpo principal**

El Acero Inoxidable AISI 304 es resistente a la oxidación por su contenido de níquel y su bajo grado de carbono respecto a los otros aceros inoxidables existentes. Este acero es un acero austenítico, no magnético y se lo endurece mediante un tratamiento térmico; en condiciones ambientales normales tiene una alta durabilidad respecto al acero inoxidable AISI 201 que es muy similar, pero con un bajo contenido de níquel lo cual baja su costo, pero su apariencia se ve afectada más rápidamente y no soporta ambientes salinos [8].

#### **2.6.1.1 Acero Inoxidable AISI 316**

El acero Inoxidable AISI 316 tiene las mismas características que el acero inoxidable AISI 304. El contenido de molibdeno en su estructura le hace más resistente a la corrosión, inclusive mayor que los aceros AISI 430 y AISI 304. Esta resistencia le hace útil para emplear en ambientes corrosivos más violentos, como medios salinos y ácidos. Se los emplea para realizar adornos de arquitectura, procesar alimentos y para producto farmacéutico [8].

### **2.6.2 Criterios de selección**

La Tabla 5 resume las propiedades del acero inoxidable 304 y acero inoxidable 31. Mediante estos criterios se seleccionará el material adecuado para los componentes que conformarán la máquina para aplicar pintura epóxica en superficies internas de tuberías.

La Tabla 5 muestra las propiedades del acero inoxidable.

**Tabla 5.** Características de los aceros inoxidables.

<b>CARACTERISTICAS DE LOS ACEROS INOXIDABLES</b>	
<b>ACERO INOXIDABLE AISI 304</b>	<b>ACERO INOXIDABLE AISI 316</b>
Resistentes a la corrosión [9].	Resistentes a la corrosión. [9]
Aceros más utilizados en la industria [3].	Su uso más general en la industria es para procesamiento de químicos [9].
	Recomendado para uso en ambientes salinos como en las regiones costeras [9].
Gran dureza [9].	Gran dureza [9].
Facilidad de trabajar [9].	Facilidad de trabajar [9].
Elevada vida útil de servicio [9].	Elevada vida útil de servicio [9].

Se expone en la Tabla 6 las características del acero inoxidable AISI 304 y AISI 316, utilizados en la industria para la fabricación de equipos, cada material está limitado a las condiciones físicas, químicas de servicio que presta. La condición única con la que va a actuar la máquina es con el medio ambiente y no va a interactuar con ningún medio químico o ambiente salino en alguna región costera. Este criterio permite la selección del Acero Inoxidable AISI 304 o AISI 316 como acero adecuado para el cuerpo principal de la máquina.

## **2.7 Material del anillo sujetador de las guías de la máquina**

Como se mencionó, anteriormente, el Acero Inoxidable AISI 304 o AISI 316 se selecciona como acero adecuado para el anillo sujetador de las guías.

## **2.8 Material de las guías de la máquina**

El acero inoxidable AISI 304 o AISI 316 se selecciona como acero adecuado para las guías de la estructura.

## **2.9 Material para la boca rotatoria de pintura**

En la Figura 22 se muestra la boca giratoria, el Acero Inoxidable AISI 304 o AISI 316 se selecciona como acero para realizar este componente. La pintura se aplica a un rango de  $360^0$  aprovechando la fuerza centrífuga generada por el aire.

Los componentes que constituyen la boca giratoria son:

1. rodamiento
2. cilindro rotatorio
3. sujetador del cilindro
4. acople bushing que tiene incorporado la boquilla por donde saldrá la pintura.

## **2.10 Material del canal por donde circula el aire**

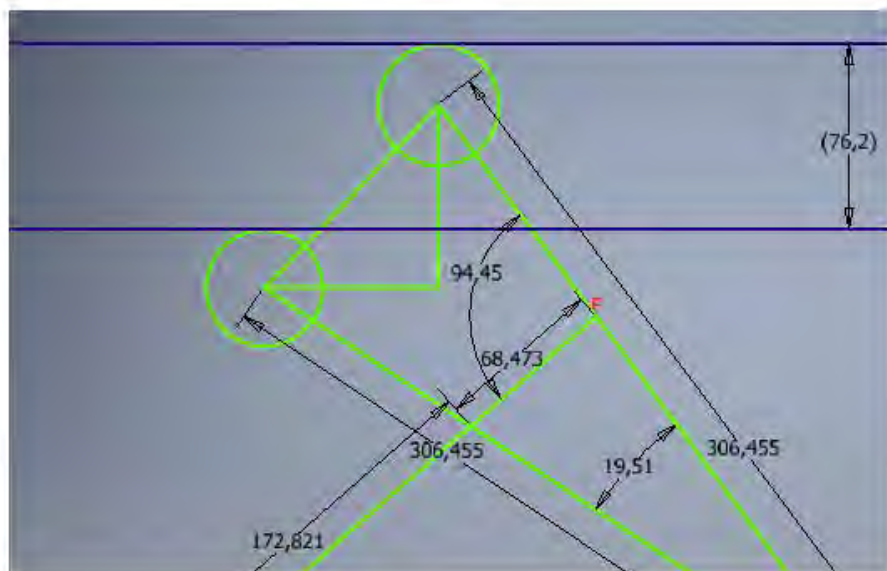
El acero inoxidable 304 o 316 es el material que constituye el canal por donde circula el fluido de aire y de pintura. El acero inoxidable es el indicado porque no se tiene problemas asociados con la corrosión.

## **2.11 Selección del resorte para el desplazamiento de la llanta-guía**

Las condiciones que se presentan para seleccionar un resorte que permite el ascenso y descenso de las guías de la máquina al ingresar en una tubería no son condiciones en las que el resorte va a soportar grandes cargas o deformaciones que distorsionen el material.

Si bien es cierto que las paredes de la tubería ejercen una reacción sobre el conjunto de llantas al ingresar la máquina al interior de la tubería. Esta fuerza no será de gran magnitud que pueda deformar al material. El propósito es calcular dichas reacciones y el resorte que permita el ascenso y descenso de las guías de la máquina. Este resorte no debe presentar una gran resistencia a su deformidad que impida el movimiento de las guías.

La distancia recorrida por el conjunto guía - rueda al ingresar de una tubería de mayor diámetro a una de menor diámetro se aprecia en la imagen inferior.

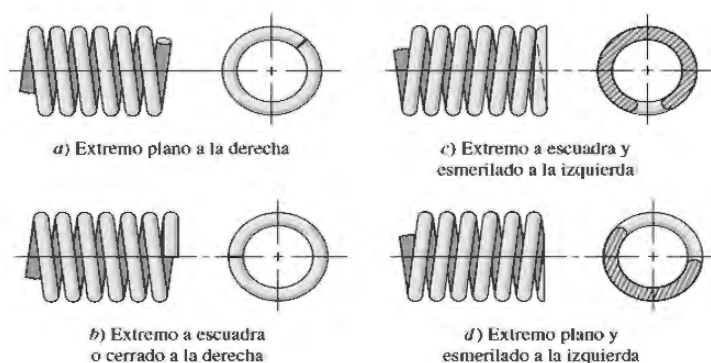


**Figura 5.** Distancia que recorre conjunto guía- ruedas.

**Fuente:** Erick Ordóñez y Marcelo Cartuche.

La Figura 5 muestra el desplazamiento del conjunto guía-rueda que mediante un *software* avanzado como el *INVENTOR* nos permite ver las magnitudes de la distancia recorrida al pasar de una tubería a otra, esta distancia permite tener una idea de la magnitud del resorte que se desea y que éste no presente alta resistencia a la compresión.

Los resortes mostrados en la imagen inferior se utilizan para transmisión de carga.



**Figura 6.** Tipos de extremos de resorte a compresión [2].

Los resortes mostrados en la Figura 6, que presentan una mejor transferencia de carga son resortes cuyos extremos deben ser a escuadra y esmerilados [2] .

La Tabla 6 en la parte inferior muestra los diferentes tipos de extremos para resortes a compresión.

**Tabla 6.** Tipos de extremos de resortes [2].

TERMINO	TIPO DE EXTREMOS DE RESORTES			
	plano	Plano y esmerilado	A escuadra o cerrado	A escuadra y esmerilado
Espiras de extremo $N_e$	0	1	2	2
Espiras totales $N_t$	$Na$	$Na + 1$	$Na + 2$	$Na + 2$
Longitud libre $L_0$	$pNa + d$	$p(Na + 1)$	$p(Na + 3d)$	$p(Na + 2d)$
Longitud sólida $L_s$	$d(Nt + 1)$	$dNt$	$dNt$	$d(Nt + 1)$
Paso $P$	$(L_0 - d)Na$	$L_0(Na + 1)$	$(L_0 - 3d)Na$	$(L_0 - 2d)Na$

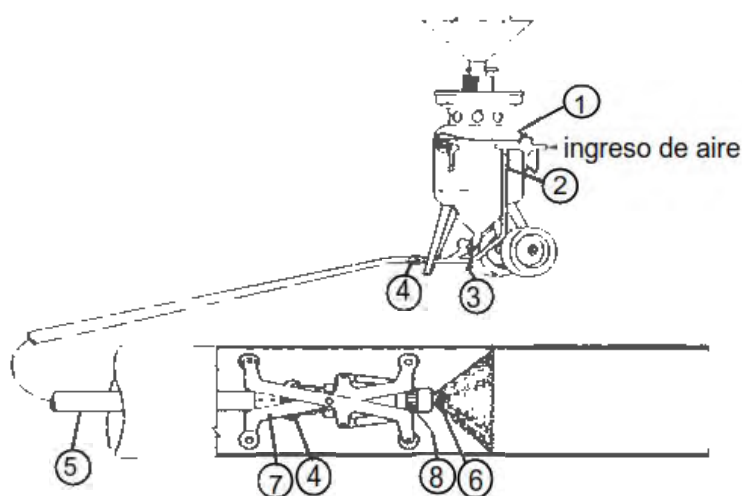
Las fórmulas en la Tabla 6 permiten el cálculo de las propiedades del resorte.

## CAPITULO 3

### DISEÑO DE COMPONENTES MECÁNICOS

#### 3.1 Principio de funcionamiento

El sistema consiste en la proyección de pintura epóxica a elevadas presiones en el interior de paredes internas de tuberías de 24 a 30 pulgadas. En la Figura 7 se muestra el tipo de funcionamiento del sistema.



**Figura 7.** Principio de funcionamiento de la maquina distribuidora de pintura [10].

#### **Componentes de la máquina distribuidora de pintura epóxica:**

- a. Compresor de aire
- b. Válvula reguladora de aire
- c. Válvula reguladora de abrasivo
- d. Enlace de tuberías
- e. Manguera por donde circula aire
- f. Boquilla dispensadora
- g. Estructura de centradora
- h. Cuerpo de regulación de la máquina

### 3.1.1 Características del sistema distribuidor de pintura epóxica

La inserción de maquinaria para aplicar pintura de manera uniforme trae muchas ventajas:

#### a) Ahorro de tiempo al aplicar pintura al interior de tuberías.

El equipo dispone de un elemento rotativo, donde la boquilla para pintar abarca todo el diámetro de la tubería mediante la rotación en 360 grados. La trayectoria que sigue la máquina es la trayectoria de la tubería por ser su estructura plegable.

#### b) Costos reducidos de mano de obra

El dispositivo no requiere de operarios al interior de tuberías y la uniformidad de la película de pintura hace del equipo una herramienta de gran utilidad en el acabado.

### 3.2 Compresor de aire

La aplicación de pintura en tuberías de 24 y 30 pulgadas se realiza mediante el uso de compresores de aire que permitan la pulverización de pintura a altas presiones. Las normas que miden el caudal son la DIN 1945 e ISO 1217. La Figura 8 muestra el funcionamiento del compresor de aire para obtener un volumen y una presión de salida según sea la necesidad.



Figura 8. Compresor [11].



### 3.2.1 Especificaciones técnicas

Se seleccionó los parámetros de funcionamiento de un compresor marca WEG cuya presión máxima es de 145 psi. La Tabla 7 indica las especificaciones técnicas del compresor de aire.

**Tabla 7.** Especificaciones técnicas del compresor.

Propiedades	Unidad de medida	Valor
Velocidad	Rpm	3350
Voltaje	V	110-220
Corriente	A	6,50-13
Potencia de salida	kW	0,85
Presión máxima	Psi	145

**Fuente:** Empresa Acindec.

### 3.2.2 Válvula de paso de aire comprimido

Esta válvula se encarga del paso de aire por la manguera transportadora. En la Figura 9 se muestra la válvula que regula el paso de aire.



**Figura 9.** Válvula de paso de aire [12].

Esta válvula regula el paso del aire para tener presiones adecuadas para la aplicación de recubrimientos sobre superficies. En la Tabla 8 se observa las condiciones que debe cumplir el compresor de aire para realizar el proceso.

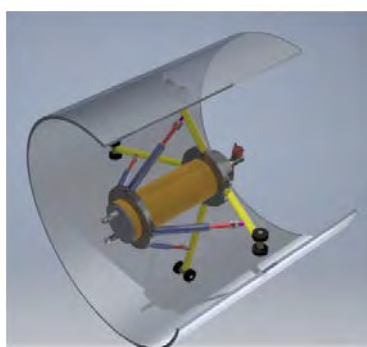
**Tabla 8.** Condiciones del compresor [10].

<b>Propiedades</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Valor</b>
Presión de aire	Psi	101 -159
Granulometría	Mm	1,2

**Fuente:** Empresa Acindec.

### **3.3 Estructura de la máquina para aplicar pintura epóxica.**

El mecanismo ingresará al interior de la tubería para aplicar el recubrimiento epóxico a través de sus boquillas por la cual se expulsará pintura debido a elevadas presiones que soporta el fluido. El sistema está compuesto de los elementos descritos en la propuesta solución 4. Estos son: Cuerpo principal, Anillo para soporte de guía y pernos, Guía principal, Guía posterior, Ruedas, Entrada de pintura – aire, Tapa superior, Tapa posterior, Boquillas de pintura, elementos que contribuirán a la movilidad del equipo. La Figura 10 muestra la estructura de la máquina para aplicar pintura.



**Figura 10.** Estructura de la máquina para aplicar pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 3.3.1 Diseño del resorte para la estructura

Se realiza el diseño y dimensionamiento de un resorte, el cual va a estar colocado en la parte interna de la estructura y es el encargado de seguir la trayectoria de la tubería.

### 3.3.2 Cálculo del número de espiras

Especificaciones:

$d$  : Diámetro del alambre

$N_t$ : Espiras totales

$L_s$ : Longitud solida asumida=100mm (3,93plg)

Esta longitud se asume bajo las condiciones de desplazamiento mostradas en la Figura 11, el valor de desplazamiento es de 70 mm y por lo tanto se escoge un valor de 100 mm que tenga la longitud del resorte.

$d=0,035$ plg (se asume “d” debido a que son diámetros que generalmente se encuentran en el mercado y seleccionado de la Tabla 10.

De las fórmulas de la Tabla 6 se tiene:

$$L_s = d.N_t$$

$$N_t = \frac{L_s}{d_t} = \frac{3,93}{0,035} = 112,4 \text{ Espiras}$$

### 3.3.3 Cálculo de la constante k del resorte

Especificaciones:

$d$ : Diámetro del alambre

$N_t$ : Espiras totales

$N_a$ : Espiras activas

D: Diámetro exterior del resorte

G: Módulo del cizallamiento del resorte

K: Constante del resorte

Se asume para el cálculo:

De la Tabla 5, se escoge la especificación de resorte a escuadra y esmerilado porque son las mejores condiciones de transmisión de carga.

$$d=0,035\text{plg}$$

$$N_t = \frac{L_s}{d_t} = \frac{3,93}{0,035} = 112,4 \text{ Espiras}$$

De las fórmulas de la Tabla 6 se obtiene

$$N_t = N_a + 2$$

$$N_a = 112,4 - 2 = 110,4$$

Fórmula de la constante k [2].

$$k = \frac{d^4 * G}{8D^3 * N_a}$$

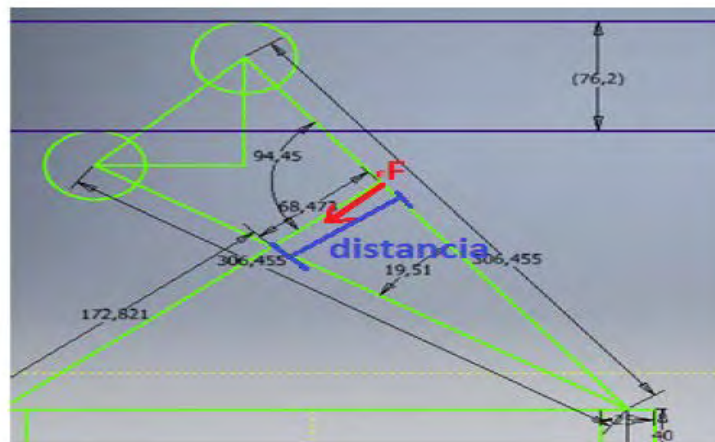
$$k = \frac{0,035^4 * 116 * 10^6}{8 * 0,618^3 * 110,4} = 0,83 \frac{\text{lb.f}}{\text{plg.}}$$

### 3.3.4 Cálculo de la reacción ejercida por la pared del tubo

Se asume que el resorte recorre una distancia de 68,473 mm (2,695 plg). Además, se observan desplazamientos que tendrá el sistema guías-rueda al ingresar de un tubo a

otro. Los gráficos para el análisis se obtuvieron del diseño en el programa *INVENTOR*.

La distancia que recorre el sistema es mostrada en la Figura 11.



**Figura 11.** Cálculo de la reacción ejercida por la pared del tubo.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

$$F_{\text{Reaccion}} = k * x$$

$$F_{\text{Reacción}} = 0,83 \frac{\text{lb.f}}{\text{plg}} * 2,695 \text{ plg} = 2,24 \text{ lb.f}$$

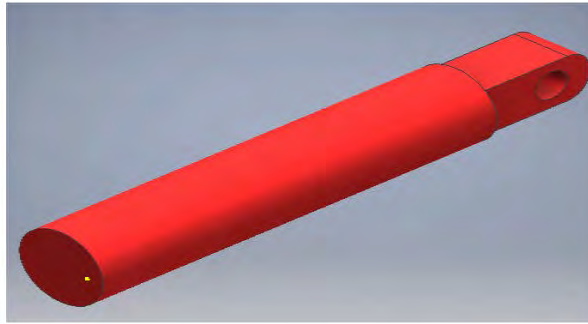
Reacción en cada guía

$$F_{\text{Reacción}} = 2,24 \text{ lb.f} \frac{4,48 \text{ N}}{\text{lb.f}} = 10 \text{ N}$$

### 3.3.5 Elemento compresor del resorte

El elemento compresor del resorte está formado por un eje de acero inoxidable. Este elemento será el encargado de comprimir el resorte al instante de que la máquina a través del conjunto guía-rueda ingrese a la tubería para recubrir la superficie interna con pintura epóxica.

En la Figura 12 se observa el elemento compresor del resorte.



**Figura 12.** Elemento compresor del resorte.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

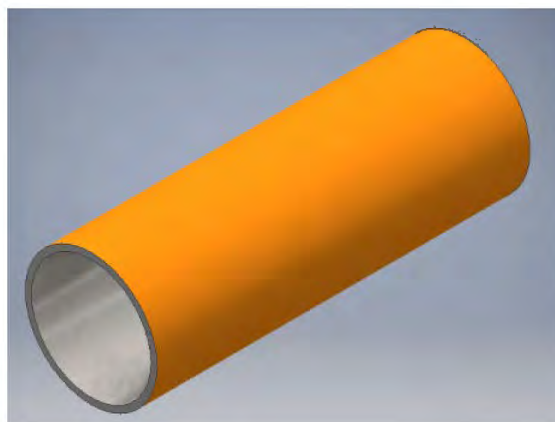
### 3.3.6 Resorte

El resorte es un alambre estirado duro basados en la tabla 10 que son resortes de uso general.

## 3.4 Componentes de la máquina

### 3.4.1 Cuerpo principal

El cuerpo principal se fabrica de tubería de acero inoxidable cuyas características y medidas se encuentran en tablas como se indica en el Anexo 2. Las medidas corresponden a NPS 5 OD 5,563" SCH40 [13]. La Figura 13 muestra la estructura central del equipo.

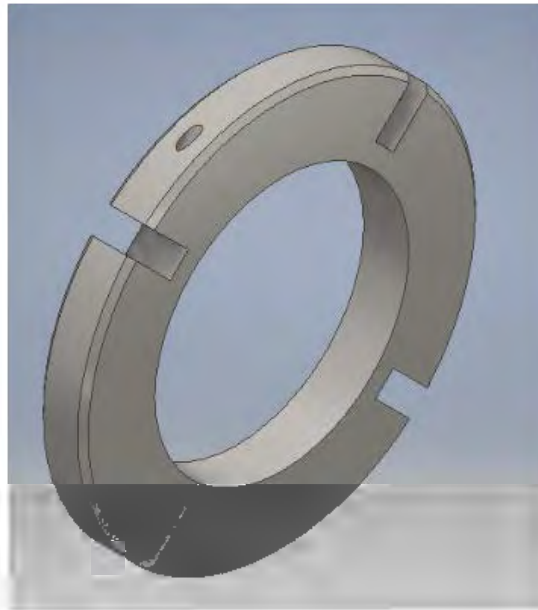


**Figura 13.** Cuerpo central de la máquina para aplicar pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 3.4.2 Anillo para soporte de guías y pernos

Para obtener los anillos de soporte se toma en cuenta las especificaciones de una plancha de acero inoxidable, las cuales se encargan de sujetar la estructura que seguirá la trayectoria de la tubería. En la Figura 14 se aprecia el modelado en Inventor y en la Tabla 9 se observan las medidas obtenidas partiendo del cilindro base.



**Figura 14.** Anillo sujetador de guías.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

La Tabla 9 muestra las medidas del anillo sujetador de guías.

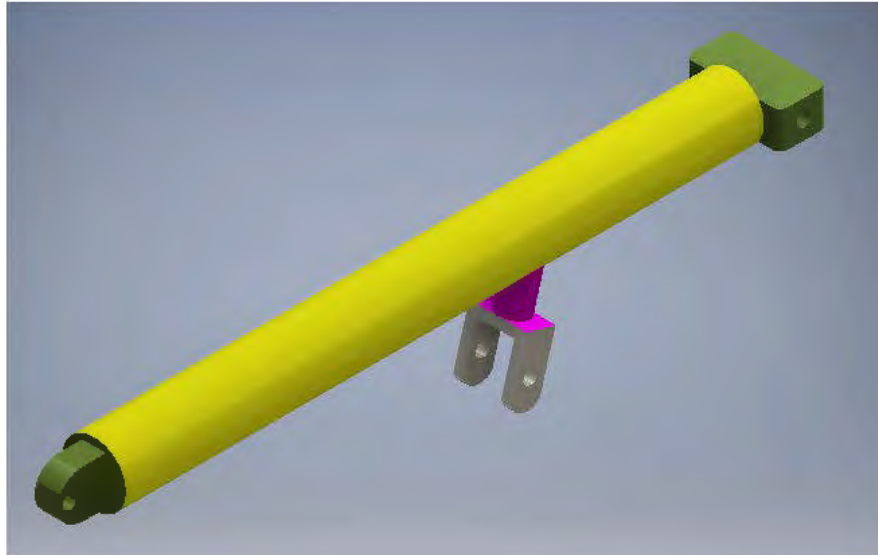
**Tabla 9.** Medidas del anillo sujetador de guías.

	<b>Espesor</b>	<b>OD (Diámetro exterior)</b>	<b>ID (Diámetro interior)</b>
Milímetros	25,4	221,3	141,3
Pulgadas	1	8,7	5,56

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 3.4.3 Guía principal

Las guías de la máquina que se muestra en la Figura 15 están formadas por un tubo de acero inoxidable NPS  $\frac{3}{4}$ , OD 1,05" SCH 160 [13]. Ver Tabla 27.

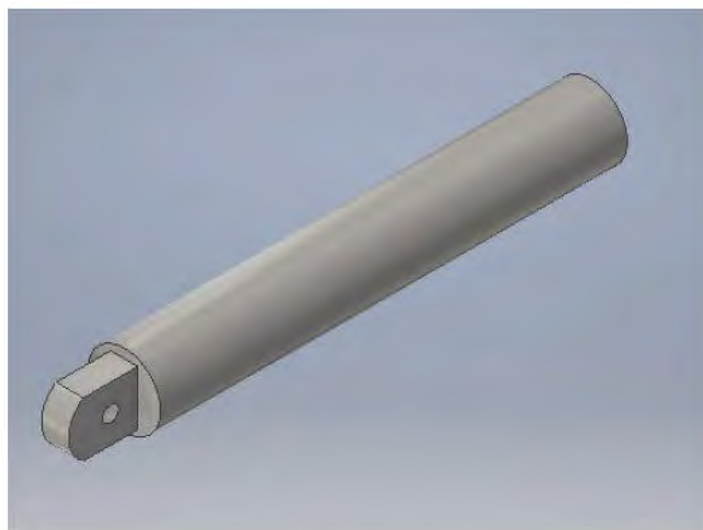


**Figura 15.** Guía principal de la máquina para aplicar pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 3.4.4 Guía posterior

La guía posterior mostrada en la Figura 16 de la máquina está formada de un tubo de inoxidable NPS  $\frac{3}{4}$ , OD 1,05" SCH 160 [13]. Ver Tabla 27.



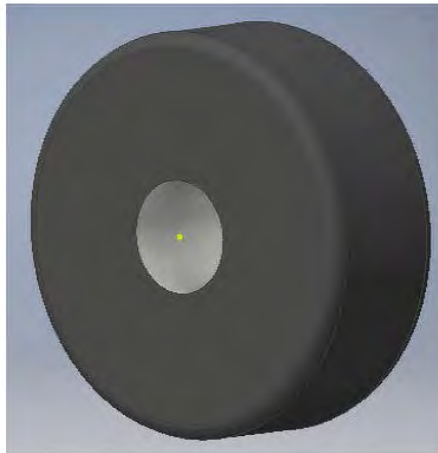
**Figura 16.** Guía posterior de la máquina para aplicar pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.



### 3.4.5 Ruedas

Las ruedas se encargan de que la máquina siga la trayectoria de la tubería, se seleccionan cuatro desde catálogos incluidos sus ajustes. En la Figura 17 se indica la rueda seleccionada para la estructura.



**Figura 17.** Ruedas de la máquina para aplicar pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 3.4.6 Tubería de alimentación de pintura

La tubería de pintura está formada de un tubo de acero inoxidable NPS 1/2 OD 0,84” SCH 40 [13], que se encarga de almacenar la pintura epóxica para que pueda salir por la boquilla al unirse con el aire a presión. En la Tabla 28 (Anexo 2) se muestra las medidas para tuberías de acero inoxidable. En la Figura 18 se muestra la tubería de pintura.

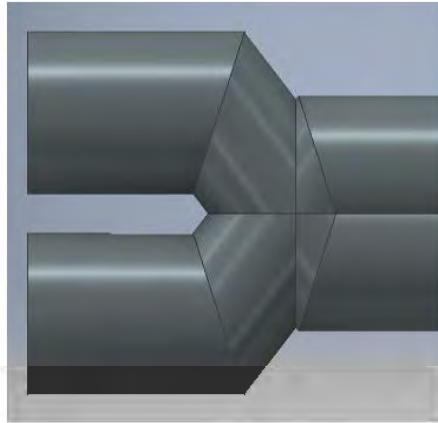


**Figura 18.** Tubería de pintura.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 3.4.7 Reductor en tapa superior

La pintura epóxica ingresa en la tubería y se encuentra con el fluido de aire en el reductor de la Figura 19. Posteriormente, la presión hará que lleguen a la boquilla de pintura. Al salir la mezcla a una elevada presión la boquilla tendrá un movimiento rotacional por la fuerza centrífuga generada y pintará el interior de la tubería.

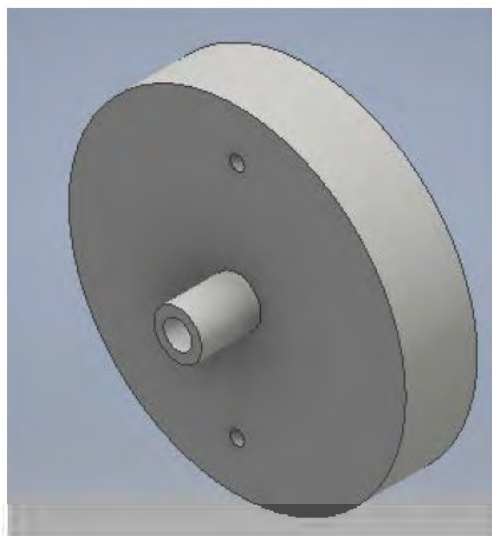


**Figura 19.** Reductor en tapa superior de la máquina.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 3.4.8 Tapa superior

La tapa superior que se muestra en la Figura 20 se la obtendrá de una plancha de acero inoxidable y adicionada con dos acoples concéntricos.

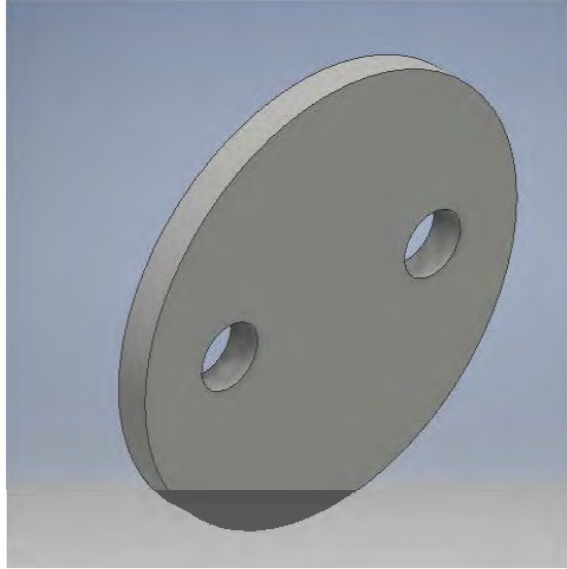


**Figura 20.** Tapa superior de la máquina para aplicar pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 3.4.9 Tapa posterior

La tapa posterior se encarga de unir los acoples que se conectan para que la manguera transportadora de aire se una con la tubería de pintura epóxica. El diámetro es igual al cilindro base para la estructura, como se muestra en la Figura 21.



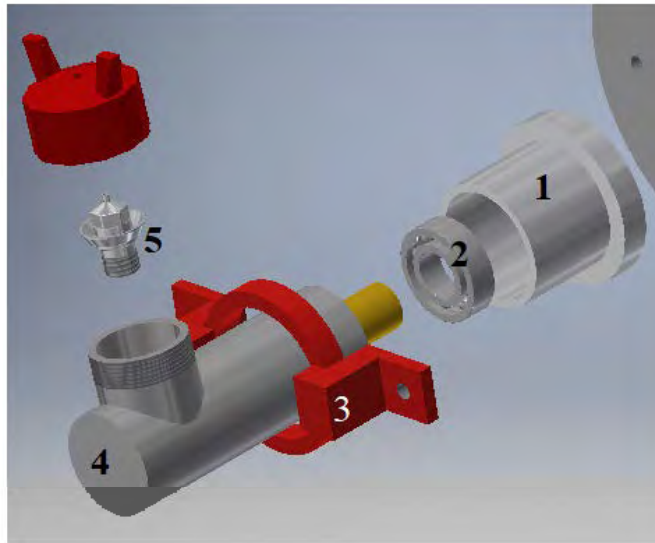
**Figura 21.** Tapa posterior de la máquina para aplicar pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 3.4.10 Boquilla para aplicar pintura

La boquilla que se utiliza se asemeja a la misma que se utiliza en las pistolas para pintar. A su vez, en la parte interior consta de un rodamiento que sirve para que la estructura gire con movimiento circular uniforme y garantizar una película de pintura uniforme alrededor del interior de la tubería.

En la Figura 22 se observa el ensamble giratorio de salida de pintura.



**Figura 22.** Ensamble giratorio para aplicar pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

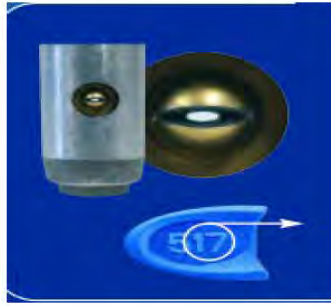
El ensamble giratorio está constituido por:

1. Rodamiento
2. Cilindro rotatorio
3. Sujetador del cilindro
4. Acople bushing que tiene incorporado la boquilla por donde saldrá la pintura
5. Boquilla de pintura.

### **3.5 Caudal de salida en la boquilla.**

La cantidad de pintura que saldrá por la boquilla va a depender del tamaño del orificio de la misma y de la presión utilizada por el compresor o equipo airless usados para la aplicación de pintura.

Para entender este concepto, las boquillas en el mercado vienen con códigos como se muestra en la Figura 23, por ejemplo: boquilla airless 517, el 5 indica el ángulo de pulverización y el 17 indica el tamaño del orificio 0,017 pulgadas o 0.43mm [14] , por el cual saldrá pintura que va a depender de la presión del equipo utilizado.



**Figura 23.** Tamaño del orificio de la boquilla para aplicar pintura epóxica [14].

### 3.5.1 Ancho del abanico de pintura

En el mercado, cada boquilla viene designada por un código. En la Figura 24 podemos ver como vienen designadas las boquillas; en este caso, el 5 marcado corresponde al ángulo de pulverización de la pintura y la anchura del abanico se consigue al multiplicar el 5 por el mismo número. En este caso tendremos un ancho de abanico de  $5 \times 5 = 25\text{cm}$ .



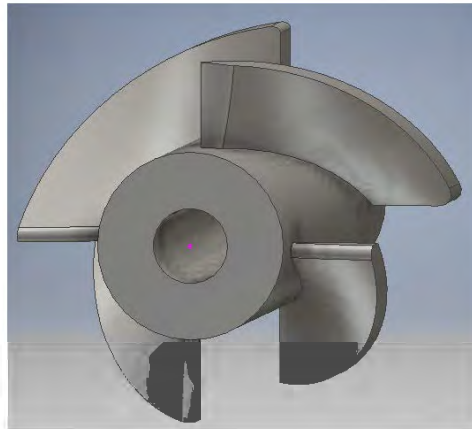
**Figura 24.** Numeración de boquillas [14].

Para la investigación se ha tomado como modelo estas bocas existentes en el mercado, en el diseño de la máquina se selecciona una boquilla de pistola convencional de pintura debido a que las bocas de pintura mostradas en la Figura 24 son de alto costo.

En resumen, con el estudio y diseño de componentes se logra plasmar los elementos que crearán la máquina para aplicar recubrimientos epóxicos en la superficie interna de tuberías, secuencialmente, se realizará el montaje de los elementos que permitan realizar la simulación del equipo.

### 3.5.2 Giro de la boquilla

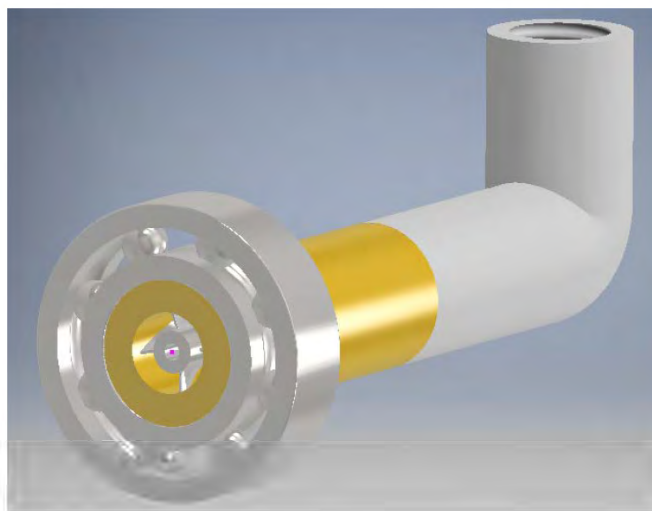
El giro de la boquilla se produce por la reacción del fluido a la salida del mismo [15], sistema de aspersor. La presión del fluido a 100 PSI acciona a los alabes que se encuentran en el interior de la tubería de salida de pintura epóxica de la máquina, esto provoca que gire la tubería y sus rodamientos sobre su propio eje a 360°. Mostrado en la figura 25.



**Figura 25.** Turbina.

**Fuente:** Erick Ordóñez y Marcelo Cartuche.

Adicionalmente, en la Figura 26 se muestra el ensamble de la turbina al sistema de tubería de salida de pintura epóxica del equipo.



**Figura 26.** Ensamble de la Tubería de salida de Pintura Epóxica

**Fuente:** Erick Ordóñez y Marcelo Cartuche.

En la Tabla 10 se muestran los valores considerados para el diseño del sistema de salida de pintura por el orificio de la boquilla.

**Tabla 10.** Aire comprimido y consumo abrasivo [16]

<b>Requerimientos de aire comprimido y consumo abrasivo</b>									
<b>Diámetro de la boquilla (mm)</b>	<b>Presión en la boquilla (psi)</b>								
	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>100</b>	<b>125</b>	<b>150</b>	
6,5	47	54	61	68	74	81	98	118	Aire (cfm)
	268	312	354	408	448	494	608	730	Abrasivo (lb/h)
	11	12	14	16	17	18	22	26	Compresor (hp)

De la Tabla 10 se observa que, para la presión de trabajo de 100 psi, con la que se realizará la simulación la presión en la boquilla será de 81 cfm, un abrasivo de 494 lb/h y se necesita un compresor de 18 hp. Además, en la Tabla 11 se indica los requerimientos de consumo de aire para una boquilla de 6,5 mm.

**Tabla 11.** Consumo de aire [16]

<b>Requerimientos de consumo de aire a 100 psi</b>						
<b>Número de Boquilla</b>	<b>Diámetro orificio</b>	<b>Volumen de aire</b>	<b>Más casco seguridad</b>	<b>Más 50% reserva</b>	<b>Mínimo aire requerido</b>	<b>Línea de aire mínima ID</b>
No. 4	1/4"	81	20	50	151 cfm	1"
	(6,5mm)	2,3	0,5	1,4	4,2 m <sup>3</sup> / min	(25mm)

### 3.5.3 Estabilidad del equipo

Para garantizar una mayor estabilidad al equipo, se coloca un eje guía en la parte trasera, este dará un contrapeso, además es el encargado de seguir la trayectoria de la

tubería, la misma que limita a una lineal y no cambios de sección. Como se muestra en la Figura 27.

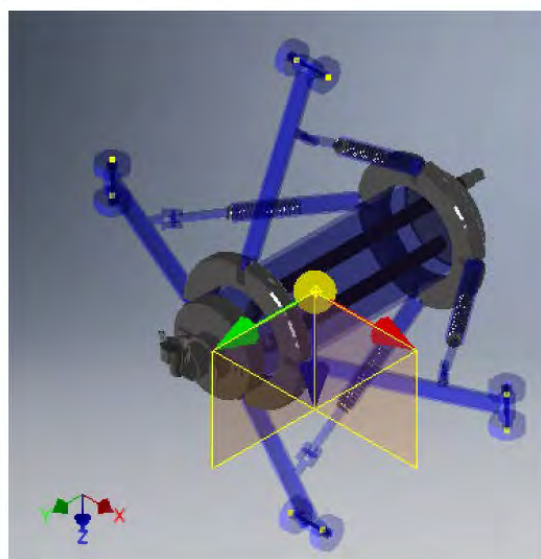


**Figura 27.** Eje Guía [17]

La velocidad de avance de la estructura según Usseglio, 2015 para que este tipo de máquinas garanticen un espesor de pintura uniforme la velocidad lineal debe ser de 3 m/min. El eje guía se analizará para estudios futuros.

### **3.6 Centro de gravedad y peso de la máquina.**

El centro de gravedad de la máquina es el punto donde consideramos aplicado todo su peso y, por tanto, nos dará la estabilidad del equipo. Para eso, se ingresa en el ensamble del programa Inventor 2016, como se muestra en la Figura 28



**Figura 28.** Centro de Gravedad de la máquina.

**Fuente:** Erick Ordóñez y Marcelo Cartuche.



Tomando en cuenta las propiedades de cada parte de los componentes se procede al cálculo del centro de gravedad y peso del ensamble del equipo. En la Tabla 12 se muestra los resultados obtenidos del programa Inventor 2016.

**Tabla 12.** Peso del equipo y centro de gravedad.

<b>Propiedad</b>	<b>Posición</b>	<b>Valor</b>
Peso de la máquina (kg)		27.373
Centro de gravedad (mm)	X	238,633
	Y	525,726
	Z	186,276
Momentos de Inercia (kg/mm <sup>2</sup> )	I1	2094772,44
	I2	256288,207
	I3	2198998,38

**Fuente:** Inventor 2016

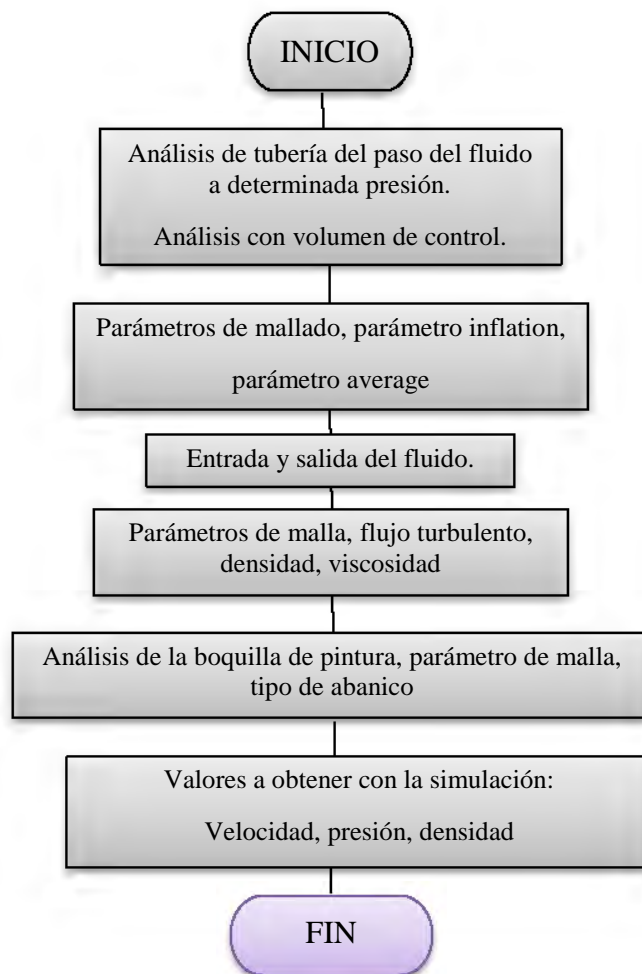
## Resumen

Con el estudio y diseño de componentes se logra plasmar los elementos que crearán la máquina para aplicar recubrimientos epóxicos en la superficie interna de tuberías, secuencialmente se realizará el montaje de los elementos que permitan realizar la simulación del equipo.

## CAPÍTULO 4

### SIMULACIÓN

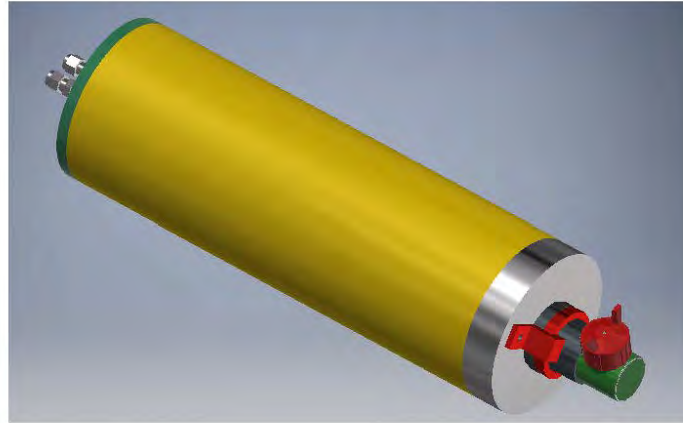
En este flujograma se muestra la secuencia en el análisis del movimiento del fluido al ingresar en la tubería y su salida por la boquilla de pintura como fluido cónico. La simulación se realiza en el *software* ANSYS 18.0 que permite el análisis de fluidos mediante el CFD (dinámica de fluido computacional).



Los valores obtenidos por presión, velocidad, densidad del fluido mediante ANSYS 18.0, indican el desempeño de la máquina al momento de aplicar pintura epóxica al interior de la tubería.

#### 4.1 Estructura para la simulación

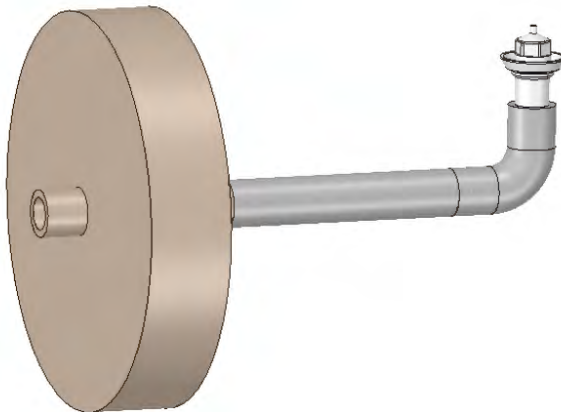
Para evitar la saturación del mallado en la simulación en el *software ANSYS 18.0* se retira la estructura que moviliza la máquina por la tubería. En la Figura 25 se indica la estructura para simulación.



**Figura 25.** Estructura para simulación.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

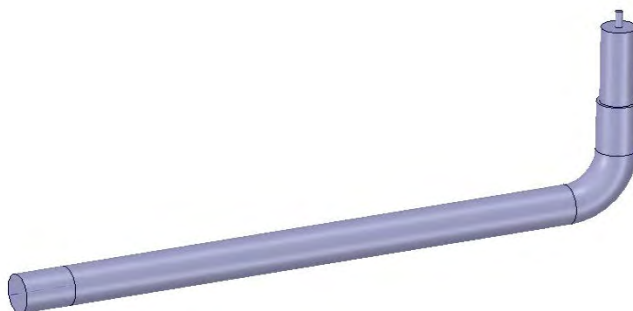
El *software* CAE a utilizar es el *ANSYS 18.0* que favorece al análisis CFD (dinámica de fluido computacional) por su amplio paquete computacional. Los accesorios y tuberías internos de la máquina encargada de transportar la pintura epóxica se muestra en la Figura 26.



**Figura 26.** Tuberías y accesorios de paso de pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

Para iniciar con el análisis CFD (dinámica de fluido computacional) se analiza el paso del fluido a una presión de trabajo. Además, se emplea la extracción del volumen de la trayectoria de la pintura por las tuberías. En la Figura 27 se indica el volumen extraído en el *Space Claim* del *software* Ansys 18.0.



**Figura 27.** Volumen de control de paso de pintura epóxica.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

## 4.2 Parámetros de mallado

Para obtener una calidad de malla adecuada se busca que la calidad de malla *Skewness* se encuentre en el intervalo de 0,22 a 0,25, el mismo que es refinado con los siguientes parámetros de calidad y tamaño. En la Tabla 10 se muestra los parámetros de mallado [18].

**Tabla 13.** Parámetros de mallado.

Parámetro de malla	Propiedad o medida
Relevance	0
Size function	Curvature
Method	Tetrahedrons
Physics preference	CFD
Smoothing	High
Solver preference	Fluent

**Fuente:** Ansys 18.0.

Como el análisis se realiza bajo presión (100 psi) se ubica el parámetro de *inflation* en el mallado, se encarga de ubicar en cada accesorio la condición de paso de fluido que soporta presión. En la Figura 28 se muestra el comando *inflation* en las tuberías de paso de pintura epóxica.



**Figura 28.** Comando inflation en ANSYS 18.  
**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

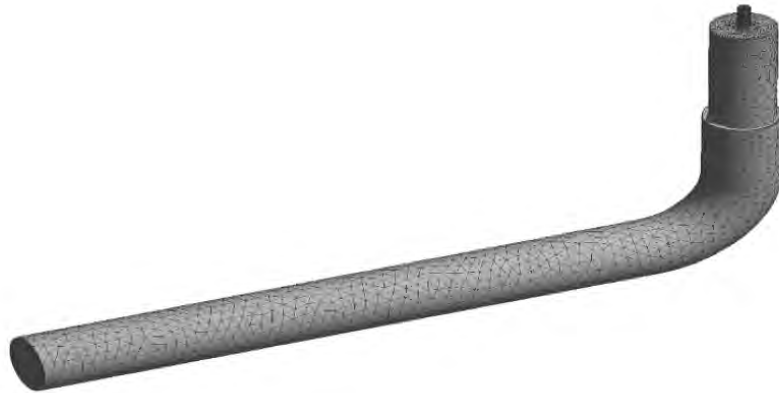
En la calidad de malla el *average* final es de 0,24943 que equivale a una malla de calidad adecuada. En la Tabla 11 se muestra el detalle de malla final.

**Tabla 14.** Calidad de malla.

Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Skewness
<input type="checkbox"/> Min	6,3181e-004
<input type="checkbox"/> Max	0,89506
<input type="checkbox"/> Average	0,24943
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,13539

**Fuente:** Ansys 18.0.

El mallado resultante en el volumen de control presente en la máquina bajo los parámetros enunciados se observa en la Figura 29.

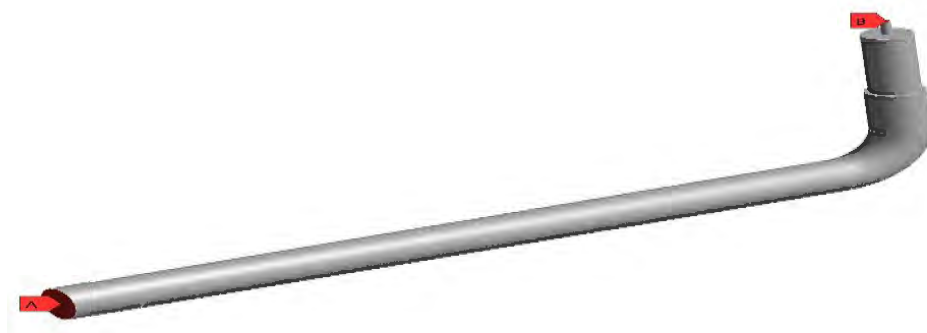


**Figura 29.** Mallado del volumen de control

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

#### 4.2.1 Entradas y salidas de fluido

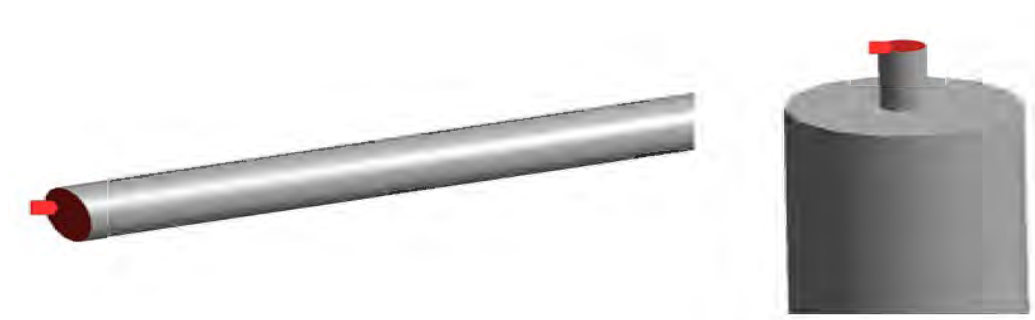
La entrada se encuentra formada por la pintura epóxica y el aire a presión suministrada por un motor compresor. Adicionalmente, la salida es por una boquilla cuyas medidas se encuentran en el Anexo 3. En las Figuras 30 y 31 se observa la entrada y salida ubicadas.



**Figura 30.** Entrada y salida del volumen de control.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

La imagen inferior muestra el volumen de control



**Figura31.** Entrada y salida del volumen de control.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

### 4.3 Consideraciones para la simulación

Para iniciar el *Setup* del CFD se realiza el chequeo de la malla y si este no tiene errores se ubica las condiciones de borde para la obtención de los resultados.

#### 4.3.1 Flujo de pintura por las tuberías

El flujo presente al ser bajo presión se tiene un flujo turbulento. En la Tabla 12 se muestran los comandos ubicados para que la máquina realice un cálculo mediante flujo turbulento y remolinos en los cambios de sección.

**Tabla 15.** Flujo turbulento de pintura.

Model (Viscous)
k-epsilon (2 eqn)
RNG
Swirl Dominated flow

**Fuente:** Ansys 18.0.

#### 4.3.2 Materiales

En la sección de materiales se ubican las propiedades de la pintura epóxica. Los valores que se ingresan son la densidad y la viscosidad. En la Tabla 13 se registran los valores ingresados en el *ANSYS*.

**Tabla 16.** Propiedades de la pintura epóxica.

Propiedad	Valor
Densidad	1570 kg/m <sup>3</sup>
Viscosidad	0.001 kg/m <sup>3</sup> s

**Fuente:** Manual de pintura.

#### 4.3.3 Condiciones de borde

La entrada de la simulación se encuentra formada por el aire y la pintura epóxica. Se ubica la presión de trabajo permisible que soporta el vaso de un compresor. Puesto que se emplea la misma boquilla en el análisis por mecánica de fluidos. En la Tabla 14 se muestra la presión de trabajo para la simulación.

**Tabla 17.** Presión de trabajo

Propiedad	Valor
Presión	100 psi
Intensidad de turbulencia	5 %

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

Se inicia el cálculo para obtener los resultados del paso de la pintura por la tubería hasta la boquilla.

#### 4.4 Resultados

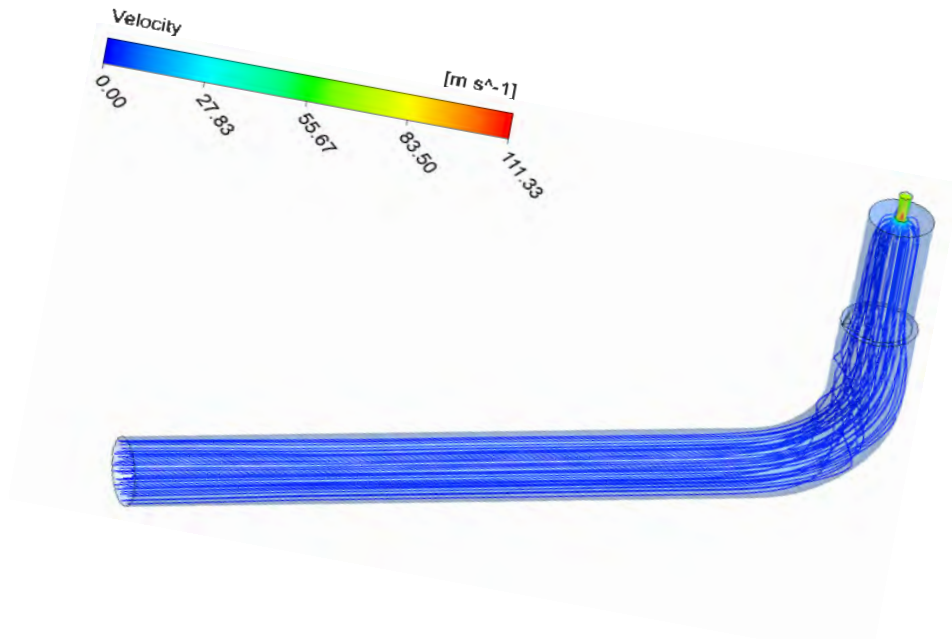
Para el análisis de resultados se obtienen graficas de velocidad, presión y mediante un plano transversal se observa de mejor manera el paso de fluido por la tubería y boquilla.



#### 4.4.1 Velocidad del fluido

En la Figura 32 se indica el resultado de la simulación por la tubería de paso de la pintura epóxica. La velocidad del fluido se muestra en la simulación mediante ANSYS.

La Figura 32 muestra la velocidad del fluido simulado en ANSYS



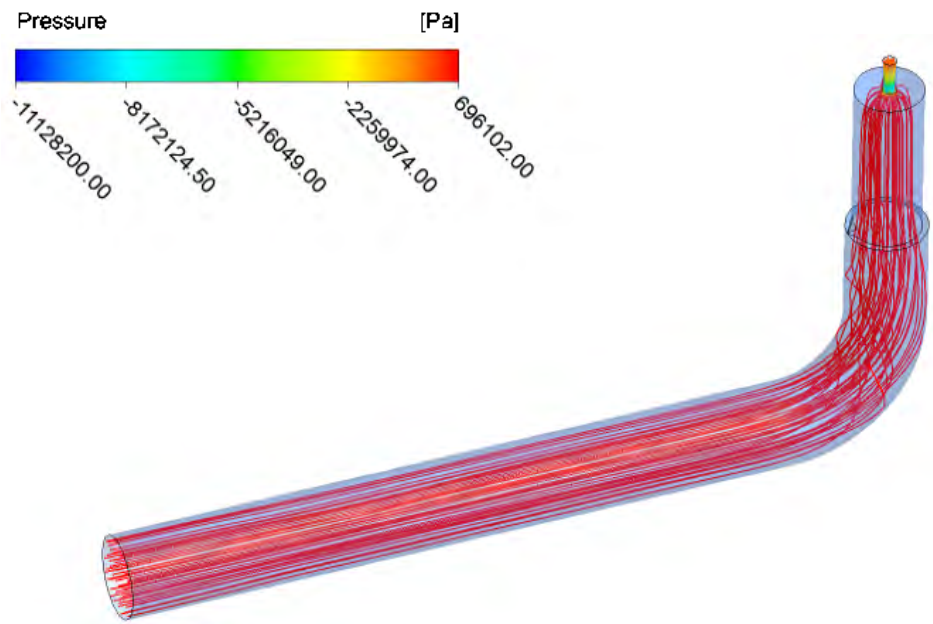
**Figura 32.** Velocidad del fluido.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

La velocidad máxima de la pintura se produce en el cambio de sección que se tiene en la boquilla con un valor de 111,33 m/s. Al colocar un codo se evita la sedimentación reduciendo la formación de cavitación por el flujo turbulento en el proceso de pintado de tuberías.

#### 4.4.2 Presión del fluido

En la Figura 33 se observa el resultado de la presión que se forma en la tubería hasta la boquilla.



**Figura 33.** Presión del fluido.

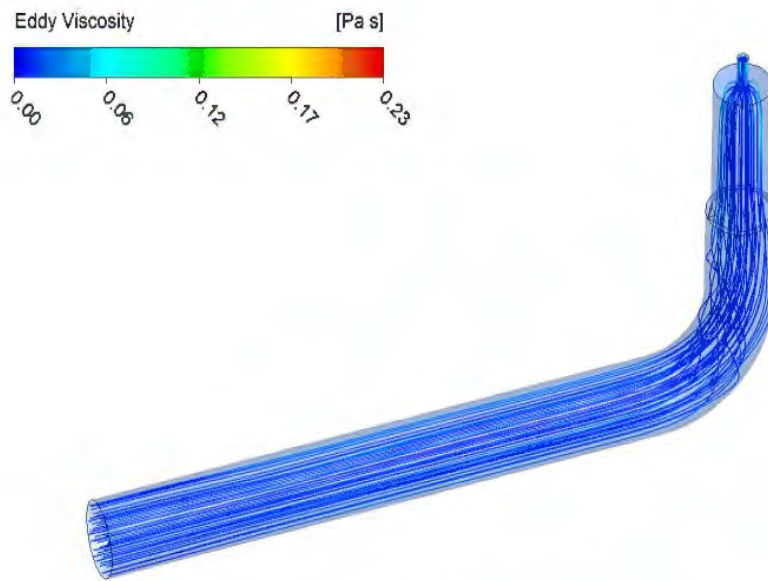
**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

La mayor presión que experimenta la pintura es en la salida por la boquilla alcanzando un valor máximo de 0,70 MPa. Debido al cambio de sección su valor disminuye, ya que menor fluido ingresa en la salida de la boquilla.

#### 4.4.3 Viscosidad del fluido

La viscosidad de la pintura se incrementa en la salida de la boquilla, puesto que existe acumulación de fluido aumentando hasta un valor de 0,17 Pa.s.

En la Figura 34 se observa el resultado de la viscosidad.



**Figura 34.** Viscosidad del fluido.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

#### 4.5 Fluido cónico en la salida de la boquilla para pintar.

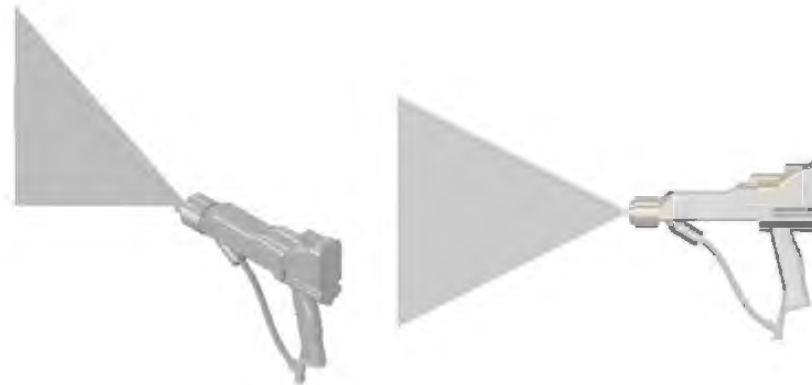
Para verificar si la pintura recorrerá el diámetro de la tubería máximo (30 pulgadas) se realiza la simulación del abanico que se forma a la salida de la boquilla, tomando en cuenta el cálculo de la sección 3.5.

En la Figura 35 se observa una pistola de compresor *airless* que sirve de parámetro para la simulación del abanico.



**Figura 35.** Pistola para pintar [19].

Para la simulación se realiza el ancho de abanico y la parte frontal de una pistola de pintura en el software *Inventor* como se muestra en la Figura 36.

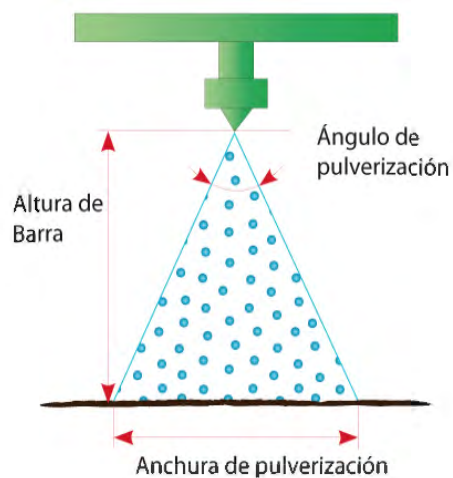


**Figura 36.** Abanico formado desde la boquilla [19].

Al no necesitar un acabado de alta calidad en el interior de la tubería se escoge la boquilla para acabados profesionales de un orificio de 0,021 pulgadas como se muestra en el Anexo 3, el cual ofrece una anchura de abanico de 25 cm que es suficiente para este proyecto de titulación.

#### 4.5.1 Fluido cónico (abanico) de pintura epóxica

En la Figura 37 se muestra los parámetros a considerar para el diseño del abanico que se forma en la salida de pintura por la boquilla [20].



**Figura 37.** Parámetros de diseño [19].

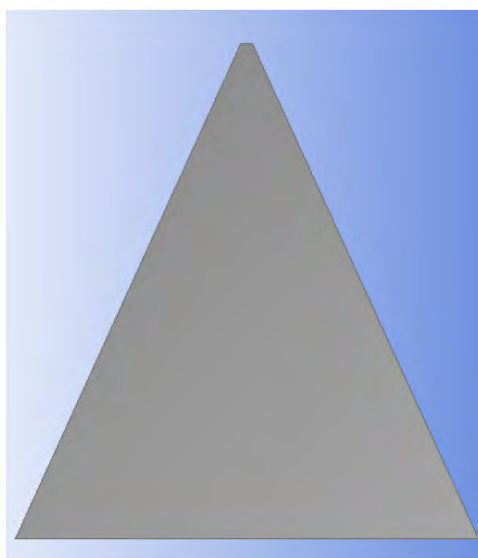
En la Tabla 15 se indican los valores considerados para el abanico formado a la salida del orificio de la boquilla.

**Tabla 18.** Parámetros de diseño.

Parámetro	Unidad de medida	Valor
Altura de barra	cm	30
Ángulo de pulverización	°	40
Anchura de pulverización	cm	25
Ancho de boquilla	mm	0,53
Ancho inicial de abanico	mm	6

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche

En la Figura 38 se indica el abanico tomando en cuenta los valores de la Tabla 15.



**Figura 38.** Fluido cónico resultante.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

#### 4.6 Parámetros de mallado

La calidad de malla *Skewness* es 0,253 que equivale a calidad excelente, el mismo que es refinado con los siguientes parámetros de calidad y tamaño que se observa en la Tabla 16.

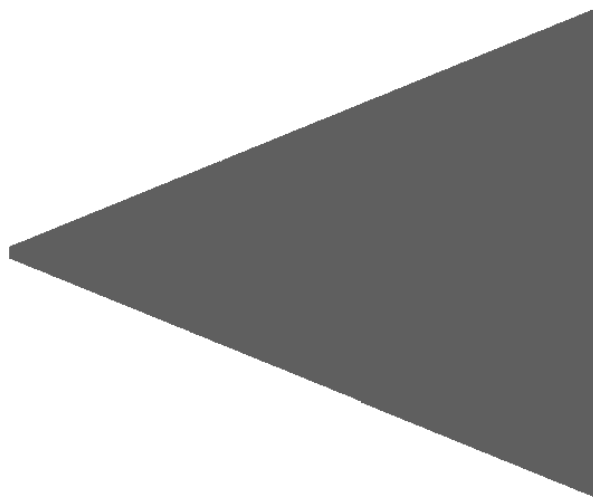
Los parámetros de mallado se muestra en la Tabla 16.

**Tabla 19.** Parámetros de mallado.

Parámetro de malla	Propiedad o medida
Relevance	0
Size function	Curvature
Physics preference	CFD
Refinement	2
Smoothing	High
Solver preference	Fluent

**Fuente:** Ansys 18.0

En la Figura 39 se observa el mallado del abanico que sale de la boquilla.



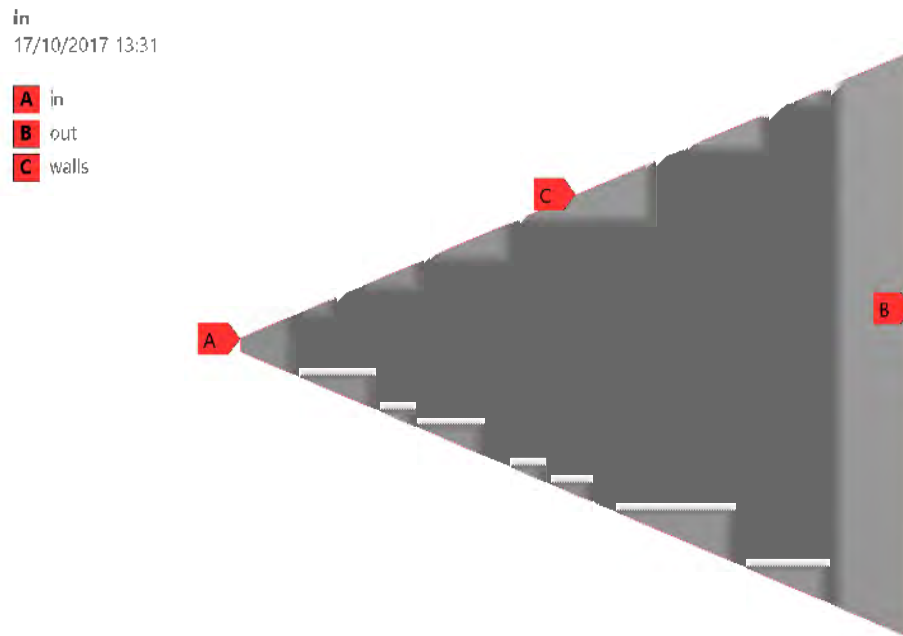
**Figura 39.** Mallado en el abanico.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

#### **4.7 Entrada, salida y perfiles del fluido cónico (abanico)**

Para la simulación en el *ANSYS Fluent* se debe colocar y renombrar los *Named Selections* y así iniciar con el ingreso de datos para la simulación.

En la Figura 40 se observa los nombres de las selecciones en el abanico.



**Figura 40.** Entradas y salidas para el análisis CFD.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

#### 4.8 Consideraciones para la simulación

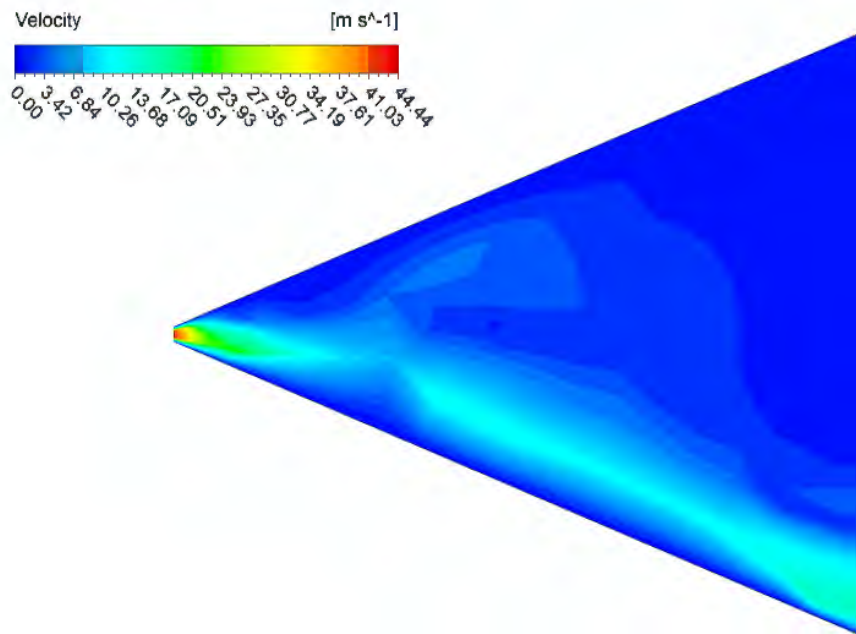
Se ingresan las mismas consideraciones de fluido que en la sección 4.3. Ya que se trabaja con el mismo fluido a la misma presión de trabajo. Para que los resultados estén acordes a la realidad se coloca 200 iteraciones en el cálculo del ANSYS.

#### 4.9 Resultados

Para el análisis del abanico en la boquilla se realizan dos visualizaciones mediante la función *Streamline* y *Contour*, que favorecen al entendimiento del fenómeno y si este alcanza las paredes interiores de la tubería de 30 pulgadas.

#### 4.9.1 Velocidad del fluido en el abanico

La velocidad de la pintura en el abanico tiene su mayor valor en la salida de la boquilla, en donde registra una velocidad de 44,44 m/s. En la parte inferior de la Figura 41 se observa que el fluido llega con una velocidad aproximada de 13 m/s. Por lo tanto, el interior de la tubería será recubierta por la pintura.



**Figura 41.** Velocidad del fluido por el abanico.

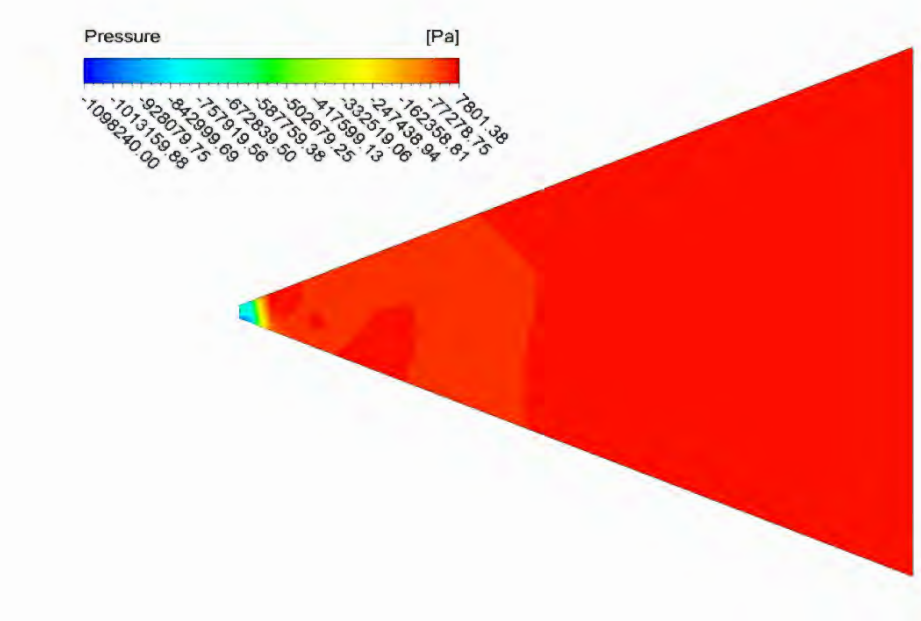
**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

#### 4.9.2 Presión del fluido en el abanico

La presión de la pintura epóxica aumenta a medida que se va alejando de la boquilla registrando un valor máximo de 7,8 KPa en la parte exterior del abanico. Al ser la región supersónica el valor de la presión aumentará en comparación a la velocidad que disminuye, como se muestra en la Figura 42.



La Figura 32 muestra la presión del fluido.

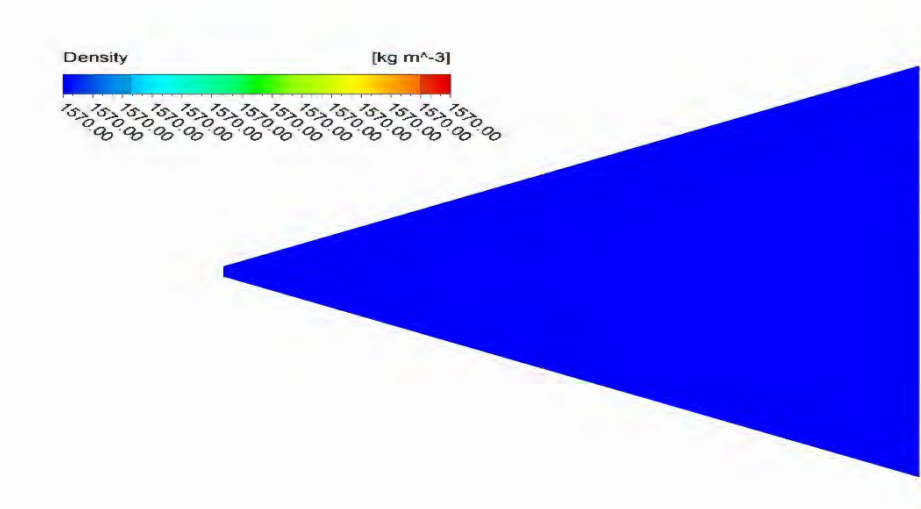


**Figura 42.** Presión del fluido por el abanico.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

#### 4.9.3 Densidad del fluido en el abanico

La densidad de la pintura epóxica no cambia en la salida de la boquilla. Por lo tanto, no existen cambios por la incidencia de la pintura en la tubería, siendo necesario controlar la velocidad circular de la boquilla y el avance de la máquina. En la Figura 43 se indica la densidad de la pintura.



**Figura 43.** Densidad del fluido en el abanico.

**Fuente:** Erick Ordoñez y Marcelo Cartuche.

Los resultados en el análisis del movimiento del fluido por la tubería mediante la simulación en el programa *ANSYS* mostraron los siguientes resultados:

Velocidad del recubrimiento líquido por la tubería de  $111,33 \frac{m}{s}$ .

Presión del fluido a la salida de la boquilla de pintura de 0,70 MPa.

Viscosidad de la pintura a la salida de la boquilla de pintura de 0,17 Pa.s

Velocidad del fluido cónico al salir de la boquilla de  $44,44 \frac{m}{s}$ .

Los valores obtenidos con la simulación en *ANSYS 18.0* revelan que la máquina para aplicar pintura epóxica a superficies internas, trabajará de manera eficiente.

## CAPITULO 5

### ANÁLISIS ECONÓMICO

#### 5.1 Viabilidad del proyecto

En este capítulo se presenta el análisis de los costos de inversión para la fabricación de una máquina para aplicar pintura a superficies metálicas.

#### 5.2 Costos de inversión en materiales y mano de obra

La Tabla 17 muestra los costos de los materiales y la Tabla 18 los costos de mano de obra.

**Tabla 20.** Costo de materiales.

TIPO	CANT.	DESCRIPCION	MATERIAL AISI 304	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Tubo	1	1" SCH160	Acero inox.	75	75
Tubo	1	1-1/2" SCH40	Acero inox.	86	86
Tubo	1	1/2" SCH 10	Acero inox.	38,50	38,50
Tubo	1	2-1/2" SCH160	Acero inox.	100	100
Tubo	1	5" SCH 40	Acero inox.	210	210
Tubo	1	3/4" SCH 160	Acero inox.	65	65
Eje	1	3/4"	Acero inox.	100	100
Plancha	1	0,78"x1x2,44m	Acero inox.	45,44	45,44
Plancha	1	0,40"x1x2,44m	Acero inox.	26,07	26,07
Rodamientos	1	rodamientos		10	10
Resorte	4	resorte		5	20
Ruedas	4	ruedas		10	40
Boquillas	1	boquillas		55	55
<b>TOTAL</b>					<b>871.01</b>

**Fuente:** Kubiec Conduit, Tenaris, Aceros Diacelec.

**Tabla 21.** Costo de mano de obra.

DESCRIPCIÓN	CARGO	HORAS	USD/HORA	VALOR TOTAL
Operario	Soldador	100	5	500
Operario	Ayudante	100	3	300
<b>TOTAL</b>				<b>800 usd</b>

Fuente: Empresa Acindec.

Precio total del equipo=1671 USD.

La rentabilidad del producto se lo puede determinar mediante el valor actual neto (VAN), y la tasa interna de retorno (TIR).

### 5.3 Valor actual neto (VAN)

En las finanzas se utiliza esta herramienta para presagiar la rentabilidad de una inversión próxima de un proyecto, se obtiene mediante la diferencia entre el dinero ganado e invertido [21].

### 5.4 Tasa interna de retorno (TIR)

Se conoce como la tasa de descuento en un proyecto y permite que el beneficio neto sea al menos igual a la inversión [21].

El Banco Central en el Ecuador da un interés anual máximo del 17,3 % [22].la Tabla 19 muestra los flujos de caja.

**Tabla 22.** Flujo de caja [23].

Año	Inversión USD	costos operativos USD	Trabajadores USD	Impuestos USD	Ingresos USD	Flujo USD
0	1671				1671	
1		3500	1000	1261	10516	4754
2		3510	1100	1443	12033	5979
3		3520	1210	1638	13650	7282
Valor actual neto (VAN) al 17,3% [22] .						16783,74

### **Cálculo del VAN [24].**

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - L_0$$

$V_t$ : Flujo de caja por período

$L_0$ : Valor del desembolso inicial

$n$ : Número de periodos

$k$ : Interés

En la Tabla 20 se observa los valores netos actuales.

**Tabla 23.** Valor actual neto [23].

N	VAN(USD)
1	4.052,85
2	4.345,42
3	4.511,87
<b>ΣTOTAL</b>	<b>12.910,40</b>

$$VAN = 12.910,40 - 1.671 = 11.239 \text{ USD}$$

Para  $VAN > 0$  buena rentabilidad del proyecto y genera beneficios [25].

### **Cálculo del TIR [24].**

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+x)^t} - L_0 = 0$$

$F_t$ : Flujo de caja por periodo

$L_0$ : Valor del desembolso inicial

n: Número de periodos

x: Tasa interna de retorno

### Para el cálculo del TIR:

En la Tabla 21 se aprecia los flujos de caja para cada año.

**Tabla 24.** Cálculo del TIR [23].

FLUJOS	USD
Inversión	-1671
Flujo de caja 1	4754
Flujo de caja 2	5979
Flujo de caja3	7282

TIR=3%, quiere decir que a mayor TIR mayor es la rentabilidad el proyecto

### Tiempo de recuperación de la inversión

Conocido como PAY-BACK, este calcula el tiempo requerido para obtener un flujo de caja similar a la inversión.

Se calcula mediante la fórmula [23] :

$$T = \frac{F_1}{F_0}$$

F<sub>1</sub>: Flujo de caja (primer año)

F<sub>0</sub>: Flujo de caja (inversión del proyecto)

$$T = \frac{4754}{1671} = 2,84$$

La inversión realizada se cubre totalmente durante el primer año.

## CONCLUSIONES

- El diseño de la máquina mostró resultados para trabajar con un compresor de 145 psi como presión máxima que era usado para pintar el interior de tuberías de 24 a 30 pulgadas manualmente.
- En la simulación con el programa *ANSYS* se obtuvo la velocidad y presión del fluido, teniendo como resultados que la velocidad de salida de la pintura epóxica es 111,33 m/s, con una presión máxima en la boquilla de 0,70 MPa, obteniendo condiciones adecuadas de operación.
- La simulación mostró que el abanico formado en la salida de la boquilla hacia las paredes internas de la tubería mostró una velocidad máxima de 44,44 m/s a la salida del orificio y llegando a la tubería con una velocidad aproximada de 13 m/s. A su vez, la presión se incrementó al salir de la boquilla alcanzando un valor máximo de 7,8 KPa.
- Mediante la simulación en *ANSYS* se obtuvo una presión de entrada de 100 Psi y una presión de salida de 0.70 MPa; por lo que el desempeño es óptimo.
- Mediante cálculos estadísticos se determinó el TIR=3% y VAN=11.239 USD que son la rentabilidad del equipo y el tiempo de retorno de la inversión en un año.

## RECOMENDACIONES

- Estudiar la simulación en *ANSYS* con diferentes diámetros de boquillas y analizar la parte eléctrica para implementar al equipo.
- Diseñar una máquina para aplicar pintura epóxica en tuberías de mayor diámetro.
- Analizar la posibilidad de diseñar una máquina para aplicar pintura epóxica en tuberías verticales.
- Realizar el estudio de materiales poliméricos para elementos estructurales de la máquina.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] DINCORSA, «DINCORSA,» Tuberías de Acero , [En línea]. Available: [https://es.slideshare.net/dincorsa/tuberias-acero-carbono-tipos-aplicaciones?qid=b5fa9306-1911-4a25-b32e-8f6d66b7c837&v=&b=&from\\_search=1](https://es.slideshare.net/dincorsa/tuberias-acero-carbono-tipos-aplicaciones?qid=b5fa9306-1911-4a25-b32e-8f6d66b7c837&v=&b=&from_search=1). [Último acceso: 10 2017].
- [2] E. Shigley, DISEÑO en ingeniería mecánica, México: MCGRAW-HILL, 2012.
- [3] A. Güemes Gordo y N. Martín Piris, Ciencia de materiales para ingenieros, España: Pearson, 2012.
- [4] J. F. SHACKELFORD, Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros, Madrid: PEARSON EDUCACION, 2005.
- [5] JN ACEROS, «SLIDESHARE,» [En línea]. Available: [https://es.slideshare.net/JNAcerosPeru/acero-inoxidable-acero-carbono?qid=68b49f18-0f73-4cf9-9927-5fa26c5b1078&v=&b=&from\\_search=23](https://es.slideshare.net/JNAcerosPeru/acero-inoxidable-acero-carbono?qid=68b49f18-0f73-4cf9-9927-5fa26c5b1078&v=&b=&from_search=23).
- [6] JN ACERO, «SLIDESHARE,» [En línea]. Available: [https://es.slideshare.net/JNAcerosPeru/8-principales-diferencias-entre-aluminio-acero-inoxidable?qid=68b49f18-0f73-4cf9-9927-5fa26c5b1078&v=&b=&from\\_search=24](https://es.slideshare.net/JNAcerosPeru/8-principales-diferencias-entre-aluminio-acero-inoxidable?qid=68b49f18-0f73-4cf9-9927-5fa26c5b1078&v=&b=&from_search=24).
- [7] JN ACEROS, «SLIDESAWARE,» [En línea]. Available: <https://es.pinterest.com/pin/442126888404672628/>.

- [8] grupo carvi, [En línea]. Available: <http://www.grupocarvi.com/es/noticias>.
- [9] JN ACEROS, «slideshare,» [En línea]. Available: [https://es.slideshare.net/JNAcerosPeru/acero-inoxidable-304-306-resistencia-corrosion?qid=fbf79467-0cae-4d83-a03b-60b63c36ad3e&v=&b=&from\\_search=6](https://es.slideshare.net/JNAcerosPeru/acero-inoxidable-304-306-resistencia-corrosion?qid=fbf79467-0cae-4d83-a03b-60b63c36ad3e&v=&b=&from_search=6).
- [10] «vespasabbiatrici.com,» 2015. [En línea]. Available: [http://www.vespasabbiatrici.com/dispositivi\\_tubi04es.htm](http://www.vespasabbiatrici.com/dispositivi_tubi04es.htm). [Último acceso: 16 10 2017].
- [11] Kaeser, 2017. [En línea]. Available: <http://mx.kaeser.com/m/Images/P-2010-MX-tcm325-6752.pdf>. [Último acceso: 10 10 2017].
- [12] «goni.mx,» 2017. [En línea]. Available: [http://www.goni.mx/detalles\\_Regulador-de-aire-para-compresor-de-3-vias,870,58,17.htm](http://www.goni.mx/detalles_Regulador-de-aire-para-compresor-de-3-vias,870,58,17.htm). [Último acceso: 16 10 2017].
- [13] Sunny Steel Enterprise Ltd., [En línea]. Available: <http://www.sunnysteel.com/espanol/ANSI-tubos-de-acero-inoxidable-Tabla.php#.WToBPGg1-01>.
- [14] GRACO ING, [En línea]. Available: <http://www.graco.com/content/dam/graco/emea/literature/leaflet/300666/300666ES-B.pdf>.
- [15] P. Urbano Terron, Tratado de Fitotecnia General, Barcelona: Mundi-Pensa, 2010, p. 324.

- [16] D. Usseglio , Diseño de un sistema para proporcionar avance constante a equipos de pintura para interior de tuberías, Lima, 2015.
- [17] CLEMCO INTERNATIONAL, «[www.clemco.es](http://www.clemco.es),» CLEMCO INTERNATIONAL, 2012. [En línea]. Available: <http://www.clemco.es/catalogo-de-productos/chorreo-interior-de-tubos/clemco-spin-blast/>. [Último acceso: 20 12 2017].
- [18] J. M. G. Carrillo sanchez, Castillo el sitdié, *Consideraciones del mallado aplicadas al cálculo de flujos bifásico con las técnicas de dinámica de fluidos computacional*, cartagena: paseo alfonso, 2011.
- [19] «[impac.cl](http://www.impac.cl),» 2016. [En línea]. Available: <http://www.impac.cl/index.php/componentes-pulverizacion/boquillas/boquillas-de-ceramica/boquilla-atf-80-03-azul-cono-lleno.html>. [Último acceso: 15 10 2017].
- [20] F. Ommi,, S. Hosseinalipour, . A. Kargar,, . M. Eng,, . E. Movahed, y . K. Nekofar, *Experimental Investigation of Characteristics of a Double-Base Swirl Injector In a Liquid Rocket Propellant Engine.*, theran: spring, 2009.
- [21] economia finanzas, [En línea]. Available: <https://www.economiafinanzas.com/que-son-van-tir/>.
- [22] banco central del ecuador, [En línea]. Available: <https://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>.

- [23] salvador, «Análisis mecánico de un posicionador de soldadura para el proceso FCAW,» 2017. [En línea]. Available: Repositorio Digital-UPS: Ingeniería Mecánica KENNEDY - Tesis
- [24] ECONOMIPEDIA, [En línea]. Available: <http://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html>.
- [25] economipedia, [En línea]. Available: <http://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>.
- [26] T-B, «Tubos y barras huecas,» [En línea]. Available: <http://www.tubosybarrashuecas.com/tabla-de-medida-de-barra-hueca-acero-inoxidable>. [Último acceso: 28 09 2017].

## ANEXOS

### Anexo 1

**Tabla 25.** Designación europea y norteamericana AISI y composición de diferentes aceros inoxidables austeníticos [3].

Tabla 9.10. Designación europea y norteamericana (AISI) y composición de diferentes aceros inoxidables austeníticos.

Designación	AISI	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	Otros
X10CrNi18-8	301	<0,15	<2,00	<2,00	16,0-19,0	6,0-9,5	—
X2CrNi18-7	301LN	<0,03	<1,00	<2,00	16,0-18,5	6,0-8,0	N: 0,10-0,20
X2CrNi18-10	304LN	<0,03	<1,00	<2,00	17,5-19,5	8,5-11,5	N: 0,12-0,22
X5CrNi18-10	304	<0,07	<1,00	<2,00	17,5-19,5	8,0-10,5	—
X6CrNiTi18-10	321	<0,08	<1,00	<2,00	17,0-19,0	9,0-12,0	Ti: 5xC-0,70
X2CrNiMo17-12-2	316L	<0,03	<1,00	<2,00	16,5-18,5	10,0-13,0	Mo: 2,0-2,5
X5CrNiMo17-12-2	316	<0,07	<1,00	<2,00	16,5-18,5	10,0-13,0	Mo: 2,0-2,5
X12CrMnNi17-7-5	—	<0,15	<1,00	5,50-7,50	16,0-18,0	3,50-5,50	N: 0,05-0,25
X15CrNiSi20-12	—	<0,20	1,50-2,50	<2,00	19,0-21,0	11,0-13,0	—
X8CrNi25-21	—	<0,10	<1,50	<2,00	24,0-26,0	19,0-22,0	—

Nota. En todos los casos, P < 0,045 %; S < 0,015 %.

**Tabla 26.** Aceros al carbono y de aleación para resortes [2].

Nombre del material	Especificaciones similares	Descripción
Alambre de piano, 0.80-0.95C	UNS G10850 AISI 1085 ASTM A228-51	Este es el mejor, el más tenaz y el más empleado de todos los materiales para fabricar resortes pequeños. Presenta la mayor resistencia a la tensión y puede soportar mayores esfuerzos ante cargas repetidas que cualquier otro material para resorte. Disponible en diámetros de 0.12 a 3 mm (0.005 a 0.125 pulg.). No se emplee a temperaturas mayores de 120°C (250°F), o a temperaturas bajo cero.
Alambre templado en aceite, 0.60-0.70C	UNS G10650 AISI 1065 ASTM A229-41	Este es un acero para resortes de uso general que se emplea para elaborar muchos tipos de resortes de espiras, cuando el costo del alambre de piano resulta prohibitivo y se necesitan tamaños mayores que el alambre de piano disponible. No adecuado para cargas de choque o impacto. Disponible en diámetros de 3 a 12 mm (0.125 a 0.5000 pulg.), pero se consigue con tamaños mayores y menores. No se emplee a más de 180°C (350°F), o a temperaturas bajo cero.
Alambre estirado duro, 0.60-0.70C	UNS G10660 AISI 1066 ASTM A227-47	Este acero se usa para fabricar resortes de uso general más baratos y se debe utilizar sólo donde la duración, la exactitud y la deflexión no sean muy importantes. Disponible en diámetros de 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg.). No se emplee a más de 120°C (250°F), o a temperaturas bajo cero.

**Tabla 27.** Aceros al carbono y de aleación para resortes [2].

Alambre estirado duro (0.60-0.70C)	UNS G10660 AISI 1066 ASTM A227-47	Este acero se usa para fabricar resortes de uso general más baratos y se debe utilizar sólo donde la duración, la exactitud y la deflexión no sean muy importantes. Disponible en diámetros de 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg). No se emplee a más de 120°C (250°F), o a temperaturas bajo cero.
Crromo-vanadio	UNS G61500 AISI 6150 ASTM 231-41	Esta es la aleación más popular de acero para construir resortes en condiciones que impliquen esfuerzos mayores que los que se pueden emplear con los aceros al alto carbono, y para usarla cuando son necesarias resistencia a la fatiga y alta durabilidad. También sirve para cargas de choque o impacto. Se utilizan ampliamente para fabricar resortes de válvulas de motores de aviones y para temperaturas hasta de 220°C (425°F). Disponible en recocido o prerrevenido con tamaños de 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg) de diámetro.
Crromo-níquel	UNS G92540 AISI 9254	Esta aleación constituye un material excelente para fabricar resortes sometidos a esfuerzos elevados y cargas de impacto que requieren larga vida. Las durezas Rockwell de C50 a C53 son muy comunes y el material se utiliza hasta temperaturas de 250°C (475°F). Disponible en 0.8 a 12 mm (0.031 a 0.500 pulg) de diámetro.

**Tabla 28 .** Constantes A y m de  $S_{ut} = \frac{A}{d^m}$  para estimar la resistencia de tensión mínima de alambres para fabricar resortes comunes [2].

Constantes A y m de  $S_{ut} = \frac{A}{d^m}$  para estimar la resistencia de tensión mínima de alambres para fabricar resortes comunes.  
(Fuente: De Design Handbook, 1987, p. 19. Cortesía de Associated Spring.)

Material	ASTM núm.	Exponente m	Diámetro, pulg.	A, kpsi · pulg <sup>m</sup>	Diámetro, mm	A, Mpa · mm <sup>m</sup>	Costo relativo del alambre
Alambre de piano*	A228	0.145	0.004-0.256	201	0.10-6.5	2 211	2.6
Alambre T y R en aceite <sup>†</sup>	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estirado duro <sup>‡</sup>	A227	0.190	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1 783	1.0
Alambre al cromo-vanadio <sup>§</sup>	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2 005	3.1
Alambre al cromo-silicio <sup>  </sup>	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1 974	4.0
Alambre inoxidable 302 <sup>**</sup>	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1 867	7.6-11
		0.263	0.10-0.20	128	2.5-5	2 065	
		0.478	0.20-0.40	90	5-10	2 911	
Alambre de bronce fosforado**	B159	0	0.004-0.022	145	0.1-0.6	1 000	8.0
		0.028	0.022-0.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.075-0.30	110	2-7.5	932	

\* La superficie es lisa, sin defectos y tiene un acabado brillante y lustroso.

<sup>†</sup> Tiene escamas ligeras debido al tratamiento térmico, que se deben remover antes del galvanizado.

<sup>‡</sup> La superficie es lisa y brillante sin marcas visibles.

<sup>§</sup> Alambre revenido de calidad aeronáutica; también se obtiene recocido.

<sup>||</sup> Revenido a Rockwell C49, pero se puede obtener sin revenir.

<sup>\*\*</sup> Acero inoxidable tipo 302.

\*\* Temple CASB.

**Tabla 29.** Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte [2].

Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte

Material	Límite elástico, porcentaje de $S_{ue}$		Diámetro d, pulg.	$E$		$G$	
	tensión	torsión		Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
Resorte estirado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6



**Tabla 30 .** Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte [2].

[ Propiedades mecánicas de algunos alambres para resorte (continuación)

Material	Límite elástico, porcentaje de $S_{0.2}$ tensión, tensión		Diámetro al pulg	E		G	
				Mpsi	QPa	Mpsi	QPa
Templado en aceite A239	85-90	45-50		28.5	196.5	11.2	77.2
Resorte de válvula A230	85-90	50-60		29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo-vanadio A231	88-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88-93			29.5	203.4	11.2	77.2
Cromo-silicio A401	85-93	65-75		29.5	203.4	11.2	77.2
Acero inoxidable							
A313*	65-75	45-55		28	193	10	69.0
17-7PH	75-80	55-60		29.5	208.4	11	75.8
414	65-70	42-55		29	200	11.2	77.2
420	65-75	45-55		29	200	11.2	77.2
431	72-76	50-55		30	206	11.5	79.3
Bronce fosforado B159	75-80	45-50		15	103.4	6	41.4
Cobre al berilio B197	70	50		17	117.2	6.5	44.8
	75	50-55		19	131	7.3	50.3
Aleación Inconel X-750	65-70	40-45		31	213.7	11.2	77.2

\* También incluye 302, 304 y 316.

*Nota:* Ver la tabla 10-6, que contiene los valores de diseño del esfuerzo de tensión permisible.

**Tabla 31.** Esfuerzos de torsión máximos permisibles de resortes helicoidales de compresión en aplicaciones estáticas.

Material	Porcentaje máximo de la resistencia a la tensión	
	Antes de la remoción de la deformación (incluye $K_{wc}$ o $K_d$ )	Después de la remoción de la deformación (incluye $K_d$ )
Alambre de piano y acero al carbono estirado en frío	45	60-70
Acero al carbono templado y revenido y acero de baja aleación	50	65-75
Aceros inoxidables austeníticos	35	55-65
Aleaciones no ferrosas	35	55-65

## Anexo 2

**Tabla 32.** ANSI Estándar de tubos de acero inoxidable [13].

3/4	1.05	5/5S	0.065	0.92	0.6838
		10/10S	0.083	0.884	0.8572
		Std./40/40S	0.113	0.824	1.131
		XS/80/80S	0.154	0.742	1.474
		160	0.219	0.618	1.944
		XX	0.308	0.434	2.441
1	1.315	5/5S	0.065	1.185	0.8678
		10/10S	0.109	1.097	1.404
		Std./40/40S	0.133	1.049	1.679
		XS/80/80S	0.179	0.957	2.172
		160	0.25	0.815	2.844
		XX	0.358	0.599	3.659
1 1/4	1.66	5/5S	0.065	1.53	1.107
		10/10S	0.109	1.442	1.806
		Std./40/40S	0.14	1.38	2.273
		XS/80/80S	0.191	1.278	2.997
		160	0.25	1.16	3.765
		XX	0.382	0.896	5.214
		5/5S	0.065	1.77	1.274
		10/10S	0.109	1.682	2.085

**Tabla 33.** ANSI Estándar de tubos de acero inoxidable [13].

1	1.315	5/5S	0.065	1.185	0.8678
		10/10S	0.109	1.097	1.404
		Std./40/40S	0.133	1.049	1.679
		XS/80/80S	0.179	0.957	2.172
		160	0.25	0.815	2.844
		XX	0.358	0.599	3.659
1 1/4	1.66	5/5S	0.065	1.53	1.107
		10/10S	0.109	1.442	1.806
		Std./40/40S	0.14	1.38	2.273
		XS/80/80S	0.191	1.278	2.997
		160	0.25	1.16	3.765
		XX	0.382	0.896	5.214
1 1/2	1.9	5/5S	0.065	1.77	1.274
		10/10S	0.109	1.682	2.085
		Std./40/40S	0.145	1.61	2.718
		XS/80/80S	0.2	1.5	3.631
		160	0.281	1.338	4.859
		XX	0.4	1.1	6.408

**Tabla 34.** ANSI Estándar de tubos de acero inoxidable [13].

### Stainless Steel Pipe Chart

American National Standards Institute - ANSI

NPS	OD	Schedule Designations	Wall Thickness	Inside Diameter	Weight
	(Inches)	(ANSI/ASME)	(Inches)	(Inches)	(lbs./ft.)
1/8	0.405	10/10S	0.049	0.307	0.1863
		Std./40/40S	0.068	0.269	0.2447
		XS/80/80S	0.095	0.215	0.3145
5	5.563	5/5S	0.109	5.345	6.349
		10/10S	0.134	5.295	7.77
		Std./40/40S	0.258	5.047	14.62
		XS/80/80S	0.375	4.813	20.78
		120	0.5	4.563	27.04
		160	0.625	4.313	32.96
		XX	0.75	4.063	38.55
6	6.625	5/5S	0.109	6.407	7.585
		10/10S	0.134	6.357	9.289
		Std./40/40S	0.28	6.065	18.97
		XS/80/80S	0.432	5.761	28.57
		120	0.562	5.491	36.39
		160	0.719	5.189	45.35
		XX	0.864	4.897	53.16
7	7.625	Std./40/40S	0.301	7.023	23.57
		XS/80/80S	0.5	6.625	38.05
		XX	0.875	5.875	63.08

## Anexo 3

### Ancho de abanico

ANCHURA DE ABANICO										WA-xxxx	Filtro de la bomba	Filtro de la pistola
Gama	Orificio	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm	35 cm	40 cm	60 cm	CORRESPONDENCIA RECOMENDADA*	
FFA-xxx	0.008"	108	208	308							200 mallas	100 mallas (287032)
	0.010"	110	210	310	410	510					100 mallas	
	0.012"	112	212	312	412	512	612					
	0.014"		214	314	414	514	614					
PAA-xxx	0.015"	115	215	315	415	515	615				60 mallas	60 mallas (287033)
	0.017"		217	317	417	517	617		817			
	0.019"		219	319	419	519	619		819			
	0.021"		221	321	421	521	621	721	821	1221		
	0.023"			323	423	523	623	723		1223	30 mallas	ninguna
HDA-xxx	0.025"		225	325	425	525	625			1225		
	0.027"		227	327	427	527	627		827	1227	30 mallas	ninguna
	0.029"			329	429	529	629	729		1229		
	0.031"		231	331	431	531	631		831	1231		
	0.033"				433	533	633		833	1233		
	0.035"		235	335	435	535	635	735	835	1235		
	0.037"					537	637			1237		
	0.039"				439	539	639			1239		
	0.041"				441	541	641					
	0.043"				443	543	643					
	0.045"				445	545	645				ninguna	
	0.051"				451	551	651					
	0.055"				455	555	655					
	0.061"					561	661					
	0.065"					665						
	0.071"						671					

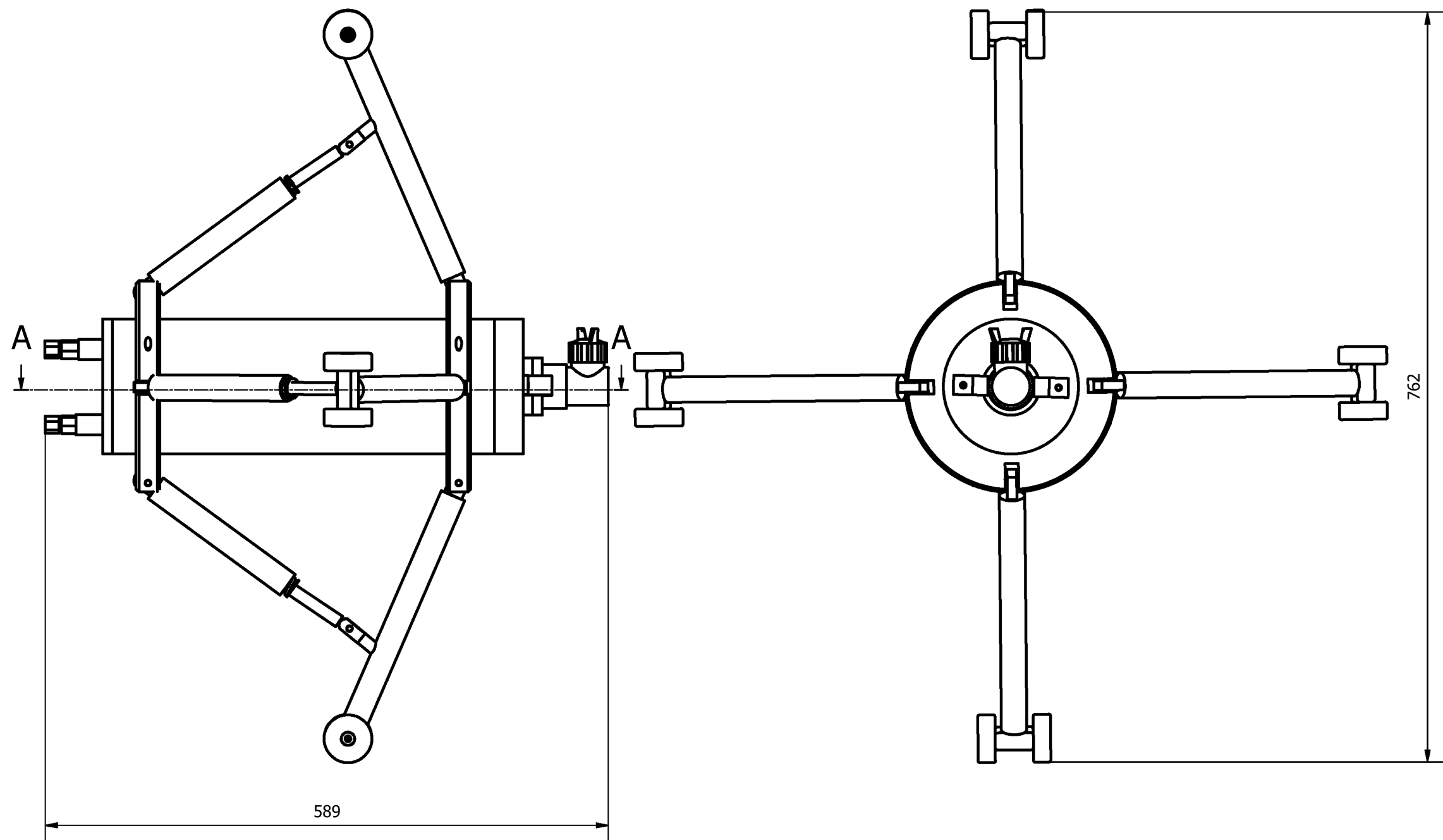
\* Depende de la calidad del producto.

Boquillas Mixtas (TIPS)		Orificio (pulgadas/mm)	Ángulo pulverización	Ancho de pulverización (mm.) a 30 cm.	Caudal de aire a 100 bar (L/min)	Referencia
Aplicación	Denominación					
Acabados	09/25 Standard	0,009"/0,23	25°	140	0,25	814 605 18
	09/40 Standard	0,009"/0,23	40°	178	0,25	814 605 19
	11/40 Standard	0,011"/0,28	40°	190	0,37	814 605 29
	11/65 Standard	0,011"/0,28	65°	254	0,37	814 605 31
	13/40 Standard	0,013"/0,33	40°		0,57	814 605 40
	13/65 Standard	0,013"/0,33	65°		0,57	814 605 42
Fondos e Imprimaciones	13/80 Standard	0,013"/0,33	80°		0,57	814 605 43
	15/25 Standard	0,015"/0,38	25°	178	0,72	814 605 49
	15/40 Standard	0,015"/0,38	40°	216	0,72	814 605 50
	15/50 Standard	0,015"/0,38	50°	254	0,72	814 605 51
	15/65 Standard	0,015"/0,38	65°	279	0,72	814 605 52
	15/80 Standard	0,015"/0,38	80°	330	0,72	814 605 53
Alta viscosidad	18/40 Standard	0,018"/0,46	40°	254		814 605 75
	18/65 Standard	0,018"/0,46	65°	330		814 605 77
	21/40 Standard	0,021"/0,53	40°	279	1,52	814 605 90
	21/80 Standard	0,021"/0,53	80°		1,52	814 605 93
Acabados extra finos	11/40 Extra Finish	0,011"/0,28	40°	190	0,37	814 612 08
	13/40 Extra Finish	0,013"/0,33	40°		0,57	814 612 13
	15/50 Extra Finish	0,015"/0,38	50°	254	0,72	814 612 19
	15/80 Extra Finish	0,015"/0,38	80°	330	0,72	814 612 21

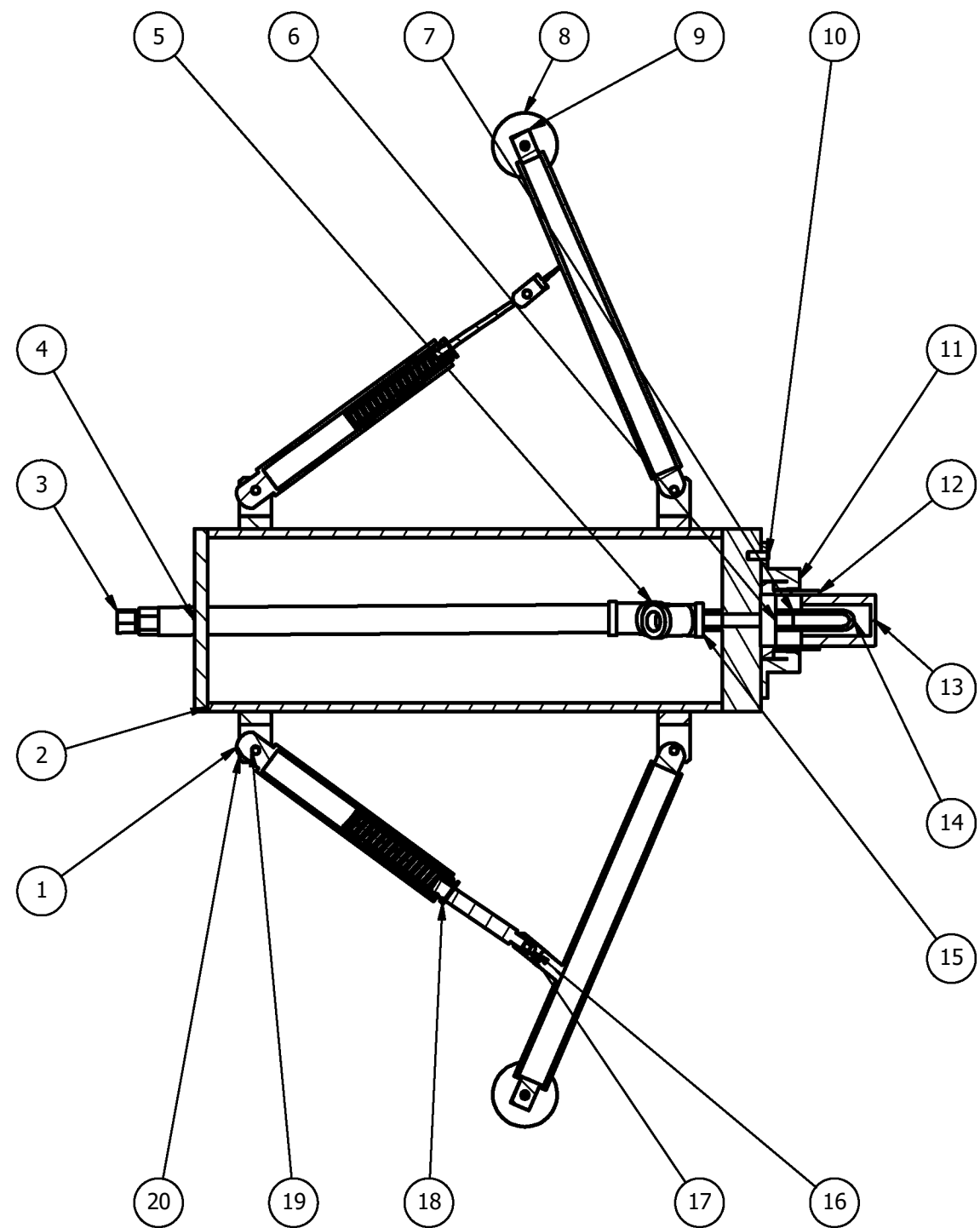
El tamaño de abanico es orientativo y varía dependiendo de la viscosidad y de la presión a la que pulvericemos.  
Otros pasos y ángulos disponibles. Consultar.

## **Anexo 4**

### **PLANOS**

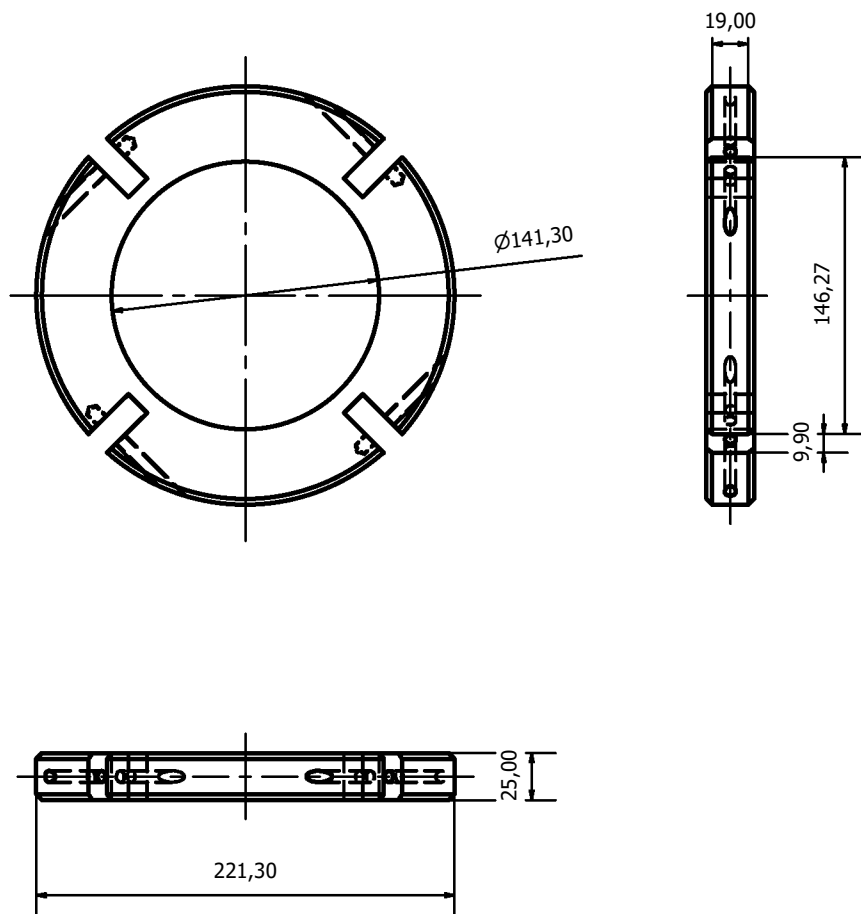


A-A ( 1 : 5 )



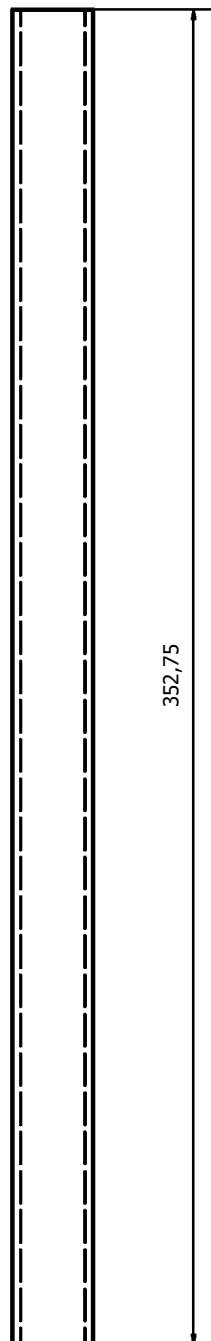
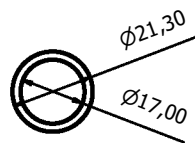
20	Anillo para soporte de guías	2	AISI 304	Acero inoxidable		
19	Pasadores cilíndrico 6 h8 x 50 - B	8	ISO 2338	inoxidable austéntico		
18	Resorte	4	DIN	AISI 302		
17	Pasadores cilíndricos - m6 x 26	4	ISO 2338	Acero inoxidable austéntico		Acero sin templar
16	Guía posterior	4	AISI 304	Acero Inoxidable		
15	Y de 3/8	1	ASME B16.3			Rama en Y Tipo 150 3/8
14	Tubería de aire-pintura	1	AISI 304	Acero Inoxidable		
13	Bushing para boca de pintura	1	AISI 304	Acero Inoxidable		
12	Boquilla para aplicar pintura	1	AISI 304	Acero Inoxidable		
11	Sujetador de boca rodante	1	AISI 304	Acero Inoxidable		
10	Tornillo M6 x 16	2	ISO 4026			Tornillo sin cabeza con hueco hexagonal
9	guía principal	4	AISI 304	Acero inoxidable		
8	Rueda	8		Goma		
7	Tapa superiro	1	AISI 304	Acero Inoxidable		
6	Rodamientos de bolas	1	SKF6203			Acanalado profundo, una hilera
5	Codo de 45 3/8	2	ASME B16.3	Hierro maleable		Accesorios roscados - Clase 150
4	Tapa posterior	1	AISI 304	Acero Inoxidable		
3	Rosca cónica hembra	2		Acero Inoxidable		Conector 3/8x1/8
2	Cuerpo principal	1	AISI 304	Acero Inoxidable		
1	Elemento compresor	4	AISI 304	Acero Inoxidable		
Ref	Denominación	Cnt.	Norma	Material	Dim. Brutas	Observaciones
CARRERA DE INGENIERIA MECANICA				UPS		
				Diseño:	Ordóñez E, Cartuche M	23/10/2017
				Dibujó:	Ordóñez E, Cartuche M	23/10/2017
				Revisó:	Ing. Anrango Christian	23/10/2017
Máquina Para Pintar Interior de Tuberías				Escala: 1 : 5	Código: 10.4311.01	Tol. Gral.: ± 0.1



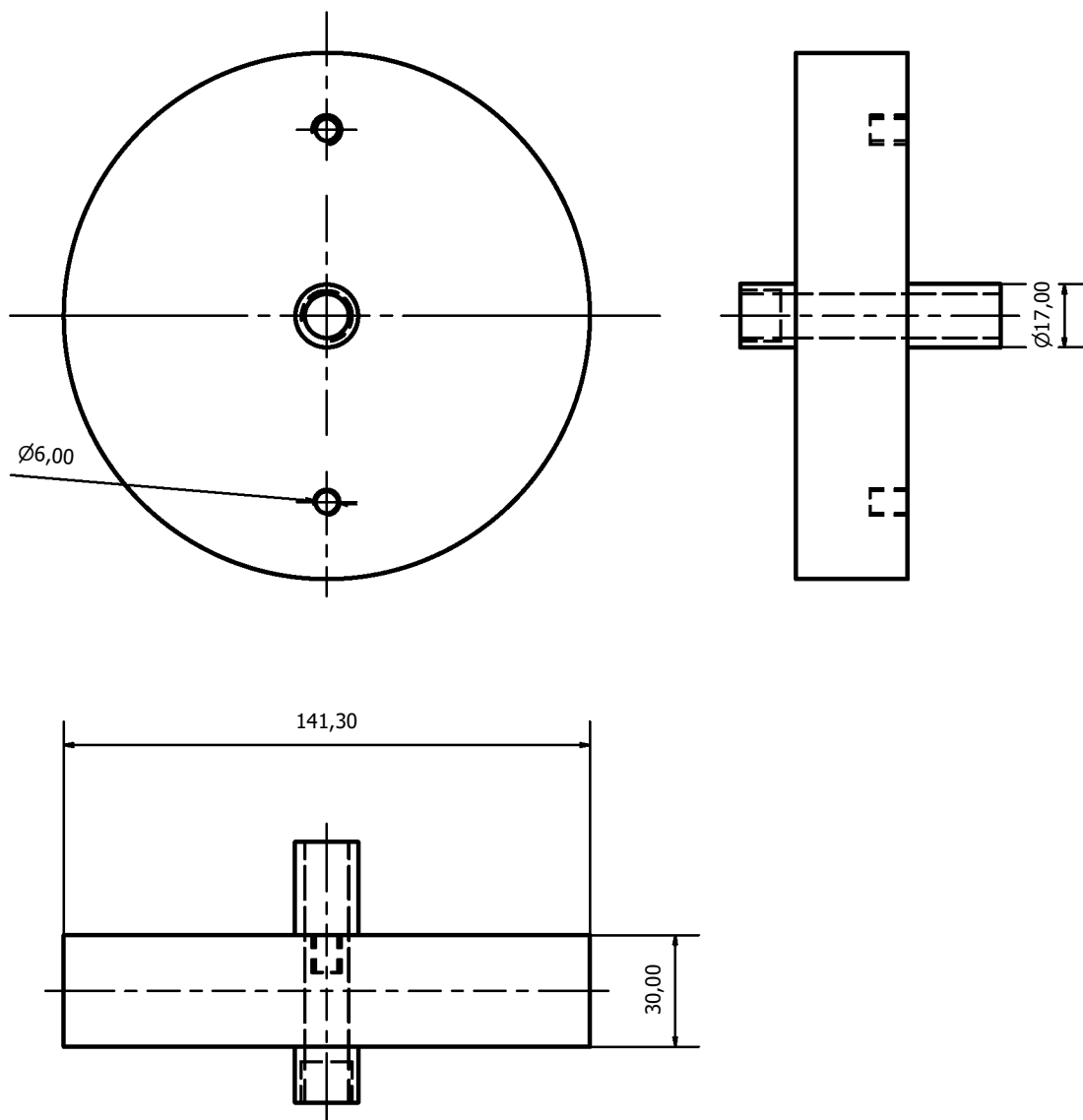


Tratamiento térmico:	NA	Material:	ACERO INOXIDABLE 304		Dim. brutas:
Recubrimiento:	NA				NA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Diseño:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Revisó:	Ing. Anrango Christian	13/10/2017	
Título:	ANILLO PARA SOPORTE DE GUIAS	Escala:	1:2	Código:	10.4311.5674.01.01
				Tol. Gral.:	± 0,1

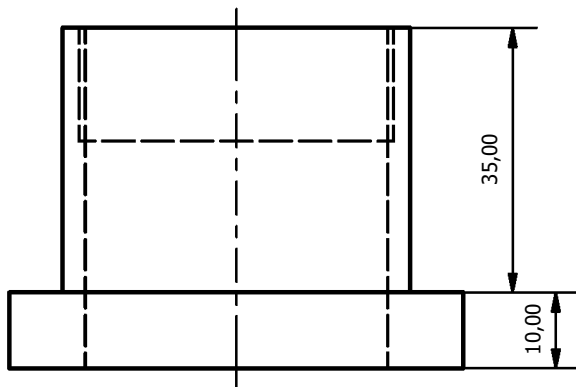
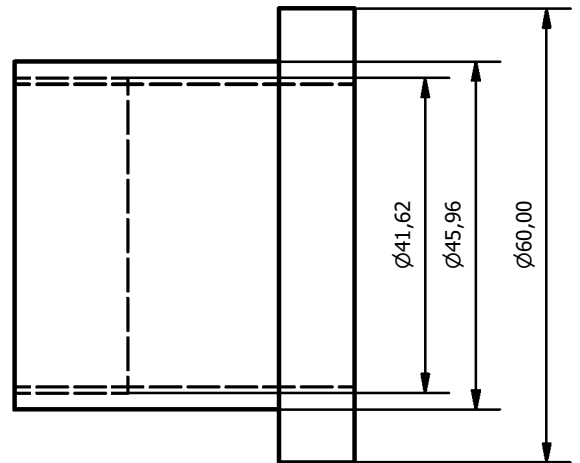
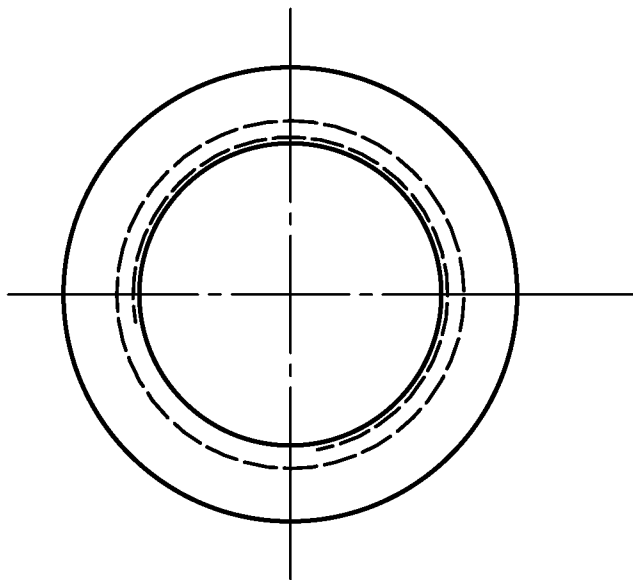




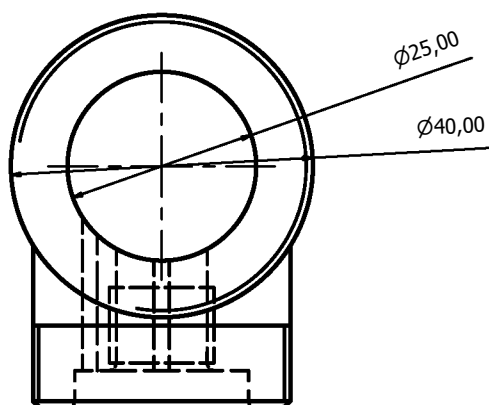
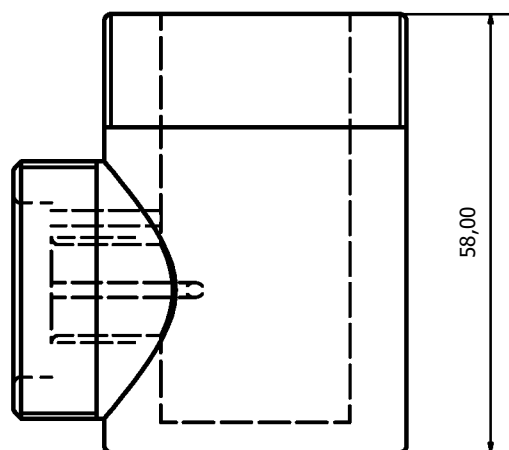
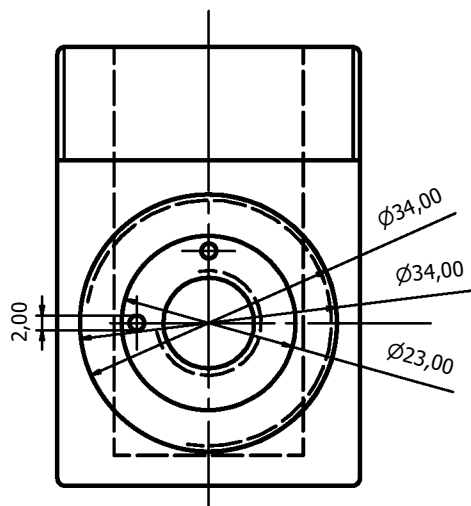
Tratamiento térmico:	NA	Material:	Dim. brutas:	
Recubrimiento:	NA	ACERO INOXIDABLE 304	NA	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Diseñó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017
		Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017
		Revisó:	Ing. Anrango Christian	13/10/2017
Título:	TUBERÍA PARA AIRE Y PINTURA	Escala:	Código:	Tol. Gral.:
		1:2	10.4311.5674.01.02	± 0,1



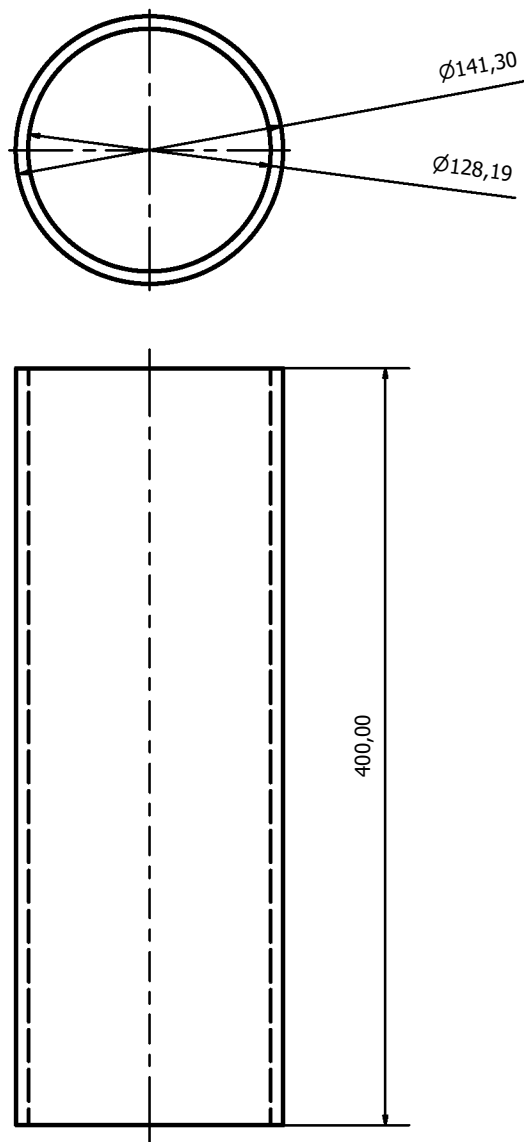
Tratamiento térmico:	NA	Material:	ACERO INOXIDABLE 304		Dim. brutas:
Recubrimiento:	NA				NA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Diseño:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Revisó:	Ing. Anrango Christian	13/10/2017	
Título:	TAPA SUPERIOR DE LA MÁQUINA PARA PINTAR	Escala:	1:2	Código:	10.4311.5674.01.03
				Tol. Gral.:	± 0,1



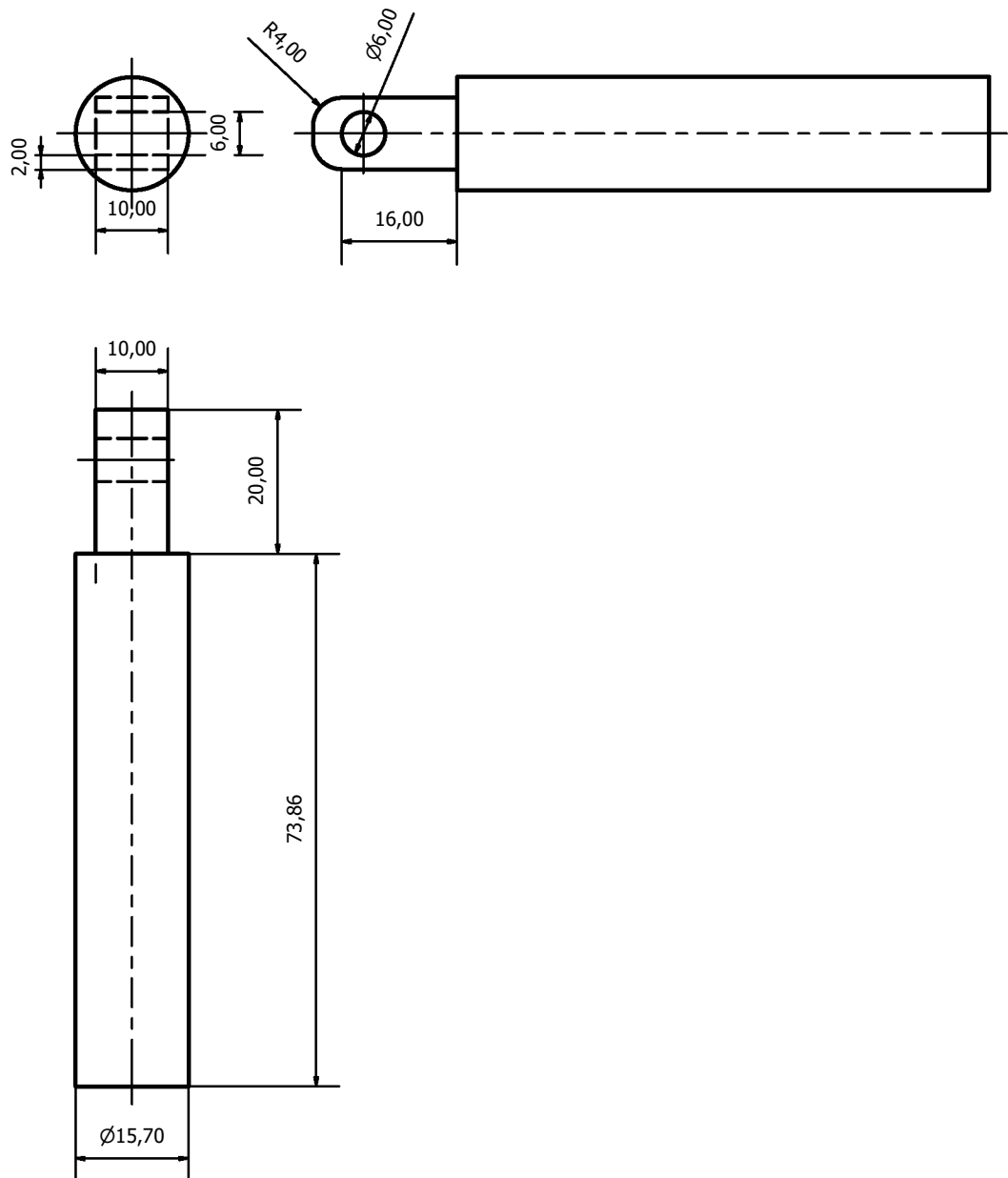
Tratamiento térmico:	NA	Material:	ACERO INOXIDABLE 304		Dim. brutas:
Recubrimiento:	NA				NA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Diseñó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Revisó:	Ing. Anrango Christian	13/10/2017	
Título:	BOQUILLA PARA APLICAR PINTURA	Escala:	1:2	Código:	10.4311.5674.01.04
				Tol. Gral.:	$\pm 0,1$



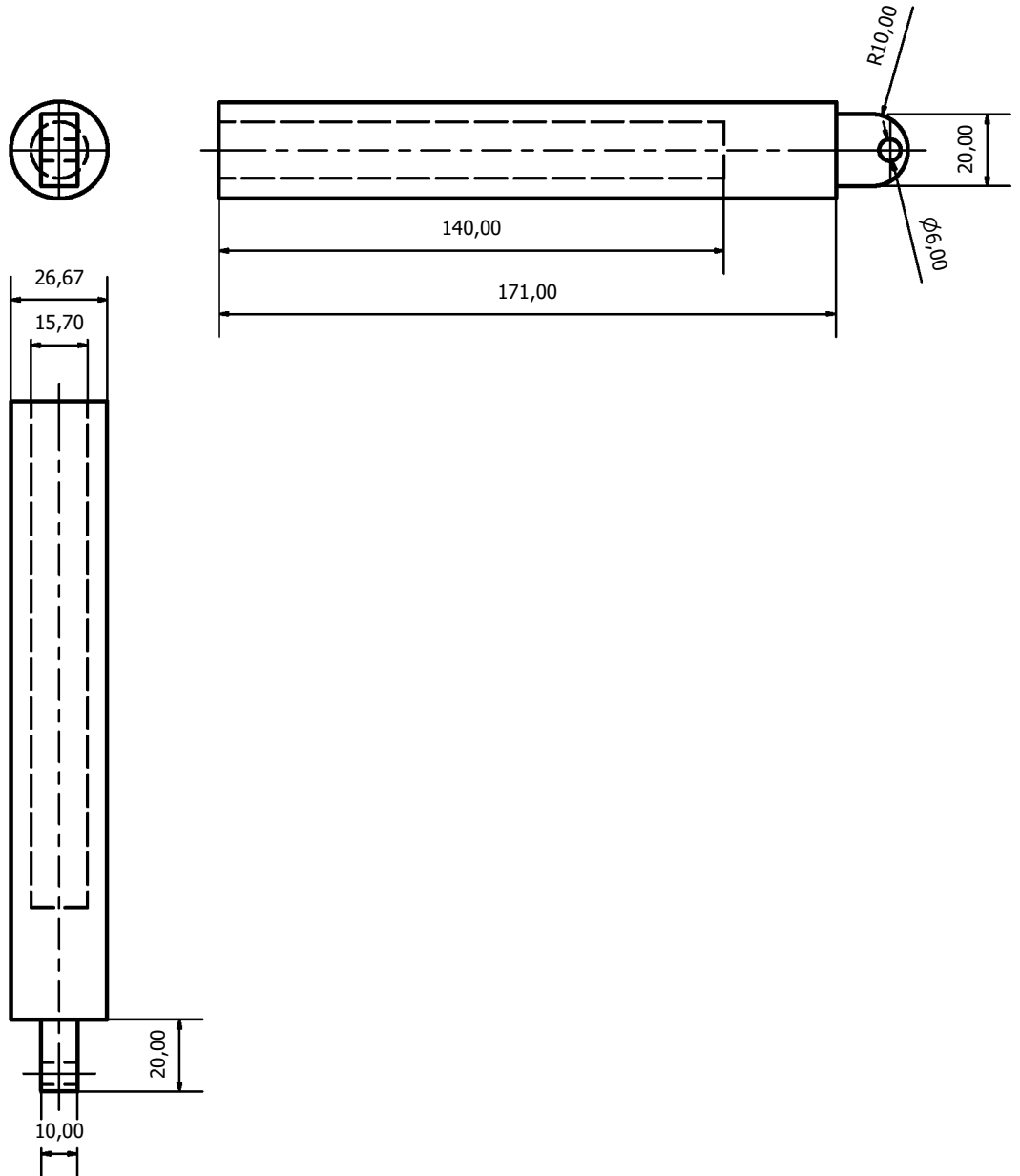
Tratamiento térmico:	NA	Material:	Dim. brutas:	
Recubrimiento:	NA	ACERO INOXIDABLE 304	NA	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Diseño:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017
		Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017
		Revisó:	Ing. Anrango Christian	13/10/2017
Título:	BUSHING PARA BOCA DE PINTURA	Escala:	Código:	Tol. Gral.:
		1:2	10.4311.5674.01.05	$\pm 0,1$



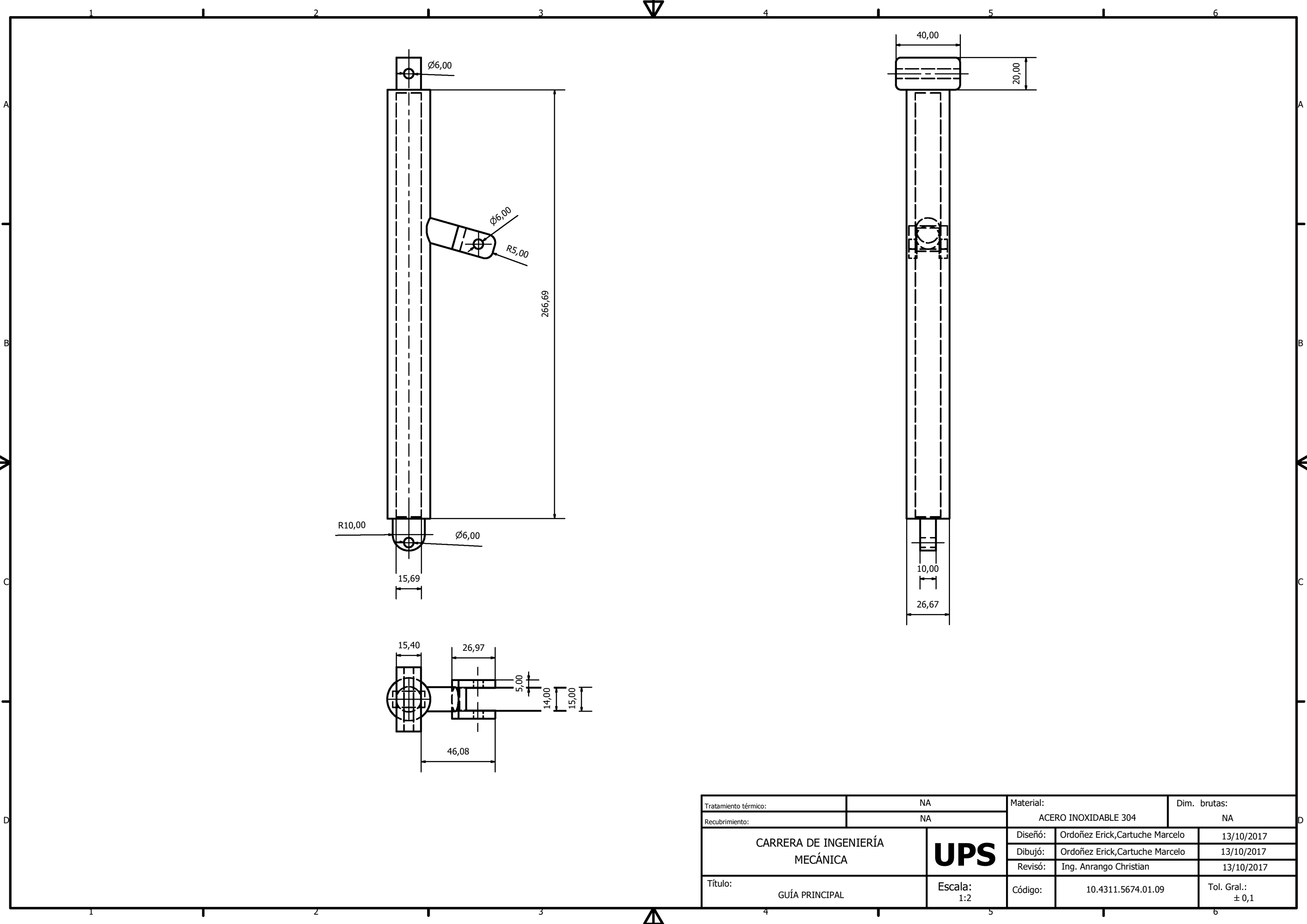
Tratamiento térmico:	NA	Material:	ACERO INOXIDABLE 304		Dim. brutas:
Recubrimiento:	NA				NA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Diseñó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo		13/10/2017
		Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo		13/10/2017
		Revisó:	Ing. Anrango Christian		13/10/2017
Título:	CUERPO PRINCIPAL DE LA MÁQUINA	Escala: 1:2	Código:	10.4311.5674.01.06	Tol. Gral.: ± 0,1



Tratamiento térmico:	NA	Material:	ACERO INOXIDABLE 304	Dim. brutas:	NA
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	<b>UPS</b>	Diseño:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Revisó:	Ing. Anrango Christian	13/10/2017	
Título:	ELEMENTO COMPRESOR DEL RESORTE	Escala:	1:2	Código:	10.4311.5674.01.07
					Tol. Gral.: $\pm 0,1$

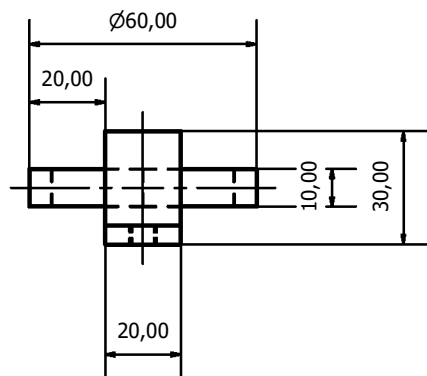
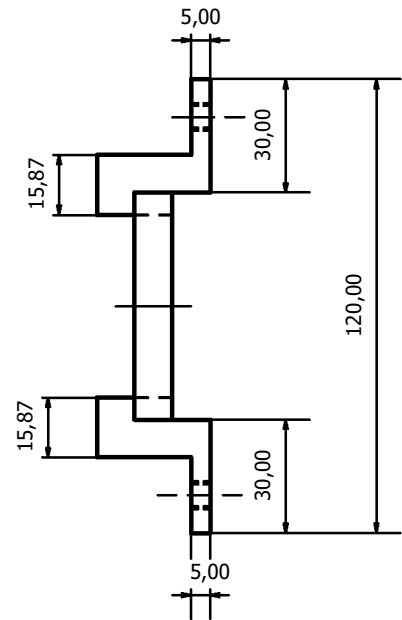
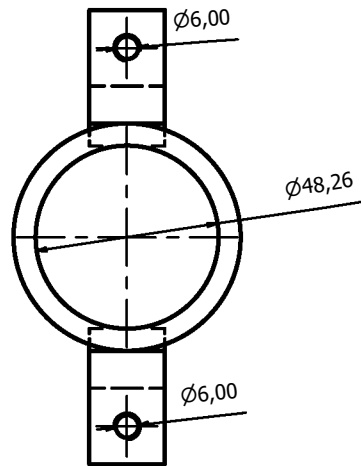


Tratamiento térmico:	NA	Material: ACERO INOXIDABLE 304		Dim. brutas: NA	
Recubrimiento:	NA				
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		UPS	Diseño:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017
			Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017
			Revisó:	Ing. Anrango Christian	13/10/2017
Título:	GUÍA POSTERIOR	Escala: 1:2	Código:	10.4311.5674.01.08	Tol. Gral.: ± 0,1

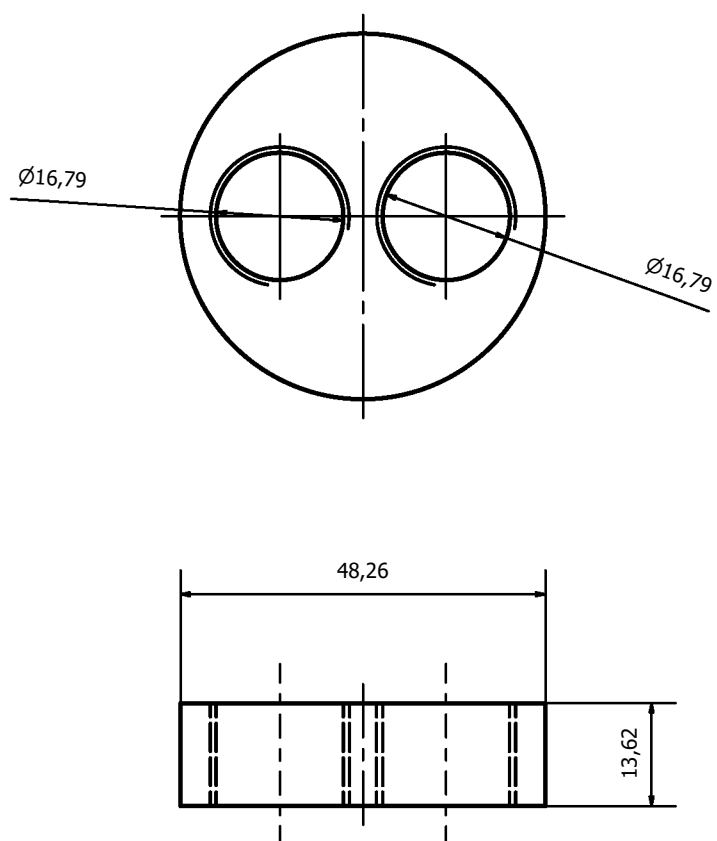


Tratamiento térmico:	NA	Material:		Dim. brutas:	
Recubrimiento:	NA	ACERO INOXIDABLE 304		NA	
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Diseñó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Revisó:	Ing. Anrango Christian	13/10/2017	
Título:	GUÍA PRINCIPAL	Escala:	1:2	Código:	10.4311.5674.01.09
				Tol. Gral.: ± 0,1	





Tratamiento térmico:	NA	Material:	ACERO INOXIDABLE 304		Dim. brutas:
Recubrimiento:	NA				NA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Diseño:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Revisó:	Ing. Anrango Christian	13/10/2017	
Título:	SUJETADOR DE BOCA RODANTE	Escala:	Código:	10.4311.5674.01.010	Tol. Gral.: ± 0,1
		1:2			



Tratamiento térmico:	NA	Material:	ACERO INOXIDABLE 304		Dim. brutas:
Recubrimiento:	NA				NA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		Diseñó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Dibujó:	Ordoñez Erick, Cartuche Marcelo	13/10/2017	
		Revisó:	Ing. Anrango Christian	13/10/2017	
Título:	TAPA POSTERIOR DE LA MÁQUINA PARA PINTAR		Escala:	1:2	Código:
				10.4311.5674.01.11	Tol. Gral.: ± 0,1